

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

**“ESTUDO DO EFEITO DO USO DE DIFERENTES AGENTES AERANTES E
GELIFICANTES E DO PROCESSAMENTO NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E
SENSORIAIS E NA ESTABILIDADE DO PRODUTO MOUSSE DE MARACUJÁ”**

PARECER

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por **Marília Ieda da Silveira Folegatti** aprovada pela Comissão Julgadora em 10 de setembro de 2001.

Campinas, 10 de setembro de 2001

Profa. Dra. Hilary Castle de Menezes
Presidente da Banca

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para a obtenção do título de Doutor em Tecnologia de Alimentos

MARÍLIA IEDA DA SILVEIRA FOLEGATTI

Zootecnista

Profa. Dra. HILARY CASTLE DE MENEZES

Orientadora

CAMPINAS / SP

2001

i



**UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE**

UNIDADE B0
 Q.º CHAMADA: T/ UNICAMP
F698c
 V. Ex.
 TOMBO BC 86978
 PROC. 16.392/07
 C ☐ D ☒
 PREÇO R\$ 11,00
 DATA 02/11/07
 M.º CPD

CM00161236-9

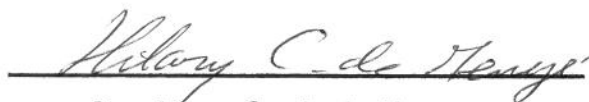
FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
 BIBLIOTECA DA F.E.A. – UNICAMP

F 698d Folegatti, Marília Ieda da Silveira
 Estudo do efeito do uso de diferentes agentes aerantes e gelificantes e do processamento nas características físicas e sensoriais e na estabilidade do produto mousse de maracujá / Marília Ieda da Silveira Folegatti. – Campinas, SP: [s.n.], 2001.

Orientador: Hilary Castle de Menezes
 Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Sobremesa. 2.Espuma. 3.Maracujá. I.Menezes, Hilary Castle de Menezes. II.Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

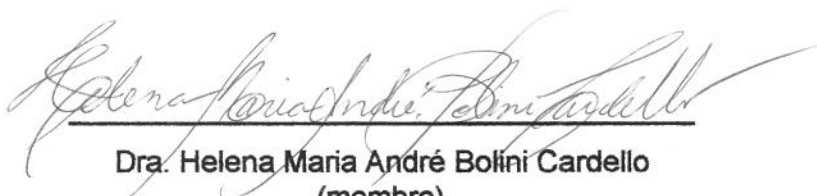
BANCA EXAMINADORA



Dra. Hilary Castle de Menezes
(orientadora)



Dr. Ricardo Luís Cardoso
(membro)



Dra. Helena Maria André Bolini Cardello
(membro)



Dra. Marisa de Nazaré Hoelz Jackix
(membro)



Dr. Salvador Massaguer Roig
(membro)



Dra. Maria Eugênia Almeida
(suplente)



Dr. Jaime Amaya Farfán
(suplente)

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

Campinas, 2001

200125086

Dedico este trabalho:

aos meus sempre orientadores, professores Rogério Lacaz Ruiz, Afonso Liguori de Oliveira, Salvador Massaguer Roig, Múcio Mansur Furtado, Hilary Castle de Menezes e Fernando César Akira Urbano Matsuura.

Ofereço este trabalho:

ao Fernando e ao Guilherme, razão do meu viver;
aos meus pais e irmãos, sempre presentes.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) da Universidade Estadual de Campinas;

Ao CPQBA, e especialmente à Dra. Marta Duarte, pelo apoio na realização das análises microbiológicas;

Ao CNPq, pelo apoio financeiro;

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, pela oportunidade da finalização deste trabalho;

Às empresas Beraca, Ceval, Coopersucar (especialmente à Sra. Vera Lúcia Bittar), Fleishmann Royal – Nabisco (especialmente ao Sr. Paulo Teruo Matura), Fruteza (especialmente ao Sr. Olívio Zanatta), Kerry (especialmente à Sra. Cristiane Ferrari), Leiner Davis Gelatin, MSC Co., NZMP (especialmente ao Sr. Douglas), SKW Biosystems (especialmente ao Sr. Marcelo Sasaki) e Zanatta, pelos materiais fornecidos;

À Profa. Dra. Hilary Castle de Menezes, pela confiança, incentivo, apoio e pela orientação deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Ricardo Luís Cardoso, Profa. Dra. Helena Maria André Bolini Cardello, Profa. Dra. Marisa de Nazaré Hoelz Jackix, Prof. Dr. Salvador Massaguer Roig, Dra. Maria Eugênia Almeida e Prof. Dr. Jaime Amaya Farfán, pelas sugestões apresentadas na redação final da Dissertação de Tese;

Aos professores Carlos Raimundo Grosso, César Francisco Ciacco, Jaime Amaya Farfán, Maria Aparecida A. P. da Silva, Maria Isabel, Marisa de Nazaré Hoelz Jackix, Mirna Lúcia Gigante, Nelson Horacio Pezoa Garcia, Pedro Eduardo de Felício, Salvador Massaguer Roig, Walkiria Hanada Viotto e Yoon Park, pelo apoio à realização deste trabalho;

Às funcionárias Ana Einpien Koon, Priscilla Ferraz (Lab. Frutas e Produtos Açucarados – DTA/FEA), Carolina, Camila (Lab. Cereais – DTA/FEA), Alice (Lab. Embalagem – DTA/FEA), Ana Lourdes Gandara (Lab. Microbiologia DTA/FEA), Elisabete (Lab. Leite e Derivados - DTA/FEA), Judite (Lab. Pescados - DTA/FEA) e Nice (Lab. Análise Sensorial – DEPAN/FEA), pela colaboração na realização de análises;

Aos colegas da FEA/UNICAMP Alessandra, Carla, Christina Adib Taxi, Daniela ("fashion"), Daniela, Elisângela, José Raimundo Dornelas, Kelly Cohen, Leonel, Lilia, Margarida, Mariane, Marinalda, Rafaela, Regina Noronha, Renata Duarte, Rosane, Tereza C. A. Almeida, pela amizade e incentivo.

Ao Fernando C. A. U. Matsuura, pela amizade, companheirismo, incentivo e apoio em todas as fases deste trabalho.

ÍNDICE GERAL

	página
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABELAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
RESUMO	xxii
SUMMARY	xxiv

ÍNDICE

1.INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Produtos aerados	4
3.1.1. Efeitos da aeração	5
3.1.2. Classificação dos produtos aerados	6
3.1.3. Métodos de aeração	6
3.1.4. Estabilidade dos produtos aerados	9
3.1.5. Fatores que influenciam as características dos produtos aerados	15
3.2. Mousse	17
3.2.1. Definição de mousse	17
3.2.2. Padrão de identidade e formulações de mousse	18
3.2.3. Ingredientes e aditivos em formulações de mousse	19
3.2.4. Fatores que interferem na textura e estabilidade da mousse	21
3.3. Funcionalidade protéica	22
3.4. Viscosidade	24
3.4.1. Viscosidade aparente do xarope de açúcares	25
3.5. Espuma	26
3.5.1. Definição de espuma	26
3.5.2. Formação e quebra da espuma	26
3.5.3. Medidas das propriedades de formação e estabilização de espumas	29
3.5.4. Propriedades específicas das proteínas de formação e estabilização de espumas	31

3.5.5. Fatores que influenciam a formação e a estabilização de espumas	33
3.5.6. Densidade da espuma	35
3.6. Agentes aerantes	35
3.7. Gelatinização	37
3.7.1. Aspectos gerais da gelatinização protéica	37
3.7.2. Formação e estrutura do gel	38
3.8. Gelatina como ingrediente funcional	42
3.8.1. Colágeno	42
3.8.2. Conversão do colágeno em gelatina	43
3.8.3. Definição de gelatina	44
3.8.4. Solubilidade e granulometria da gelatina	45
3.8.5. Bloom da gelatina	46
3.8.6. Propriedades funcionais da gelatina	46
3.9. Caseína como ingrediente funcional	47
3.10. Concentrado protéico de soro como ingrediente funcional	48
3.10.1. Fatores que influenciam a formação e a estabilidade de espumas obtidas a partir de proteínas do soro de leite	49
3.10.2. Aplicações de concentrados protéicos de soro em produtos aerados	51
3.11. Suco de maracujá como ingrediente	52
3.11.1. Aspectos nutricionais e composição do maracujá	52
3.11.2. Suco de maracujá: definição, processamento e produtos derivados	52
3.12. Processamento de produtos aerados	53
3.12.1. Etapas do processamento de produtos aerados	53
3.12.2. Processo descontínuo de batimento	54
3.12.3. Processo contínuo de batimento	55
3.13. Processamento de produtos tipo mousse	55
4. MATERIAL E MÉTODOS	57
4.1. Primeira Fase Experimental: desenvolvimento de formulações	57
4.1.1. Desenvolvimento da formulação básica de mousse de maracujá	57
4.1.2. Testes com diferentes agentes gelificantes, ingredientes substitutivos, agentes aerantes e condições de processo e armazenamento	57
4.2. Segunda Fase Experimental: otimização de formulações	61
4.2.1. Delineamento experimental	61

4.2.2. Estudo das espumas	63
4.2.2.1. Delineamento experimental	63
4.2.2.2. Formulações e fluxogramas de processamento	63
4.2.2.3. Análises físicas, físico-químicas e químicas	65
4.2.2.3.1. Teor de umidade	65
4.2.2.3.2. Teor de proteína bruta	65
4.2.2.3.3. Teor de sólidos solúveis totais	65
4.2.2.3.4. pH	66
4.2.2.3.5. Teor de acidez total titulável	66
4.2.2.3.6. Viscosidade aparente	66
4.2.2.3.7. Densidade aparente	66
4.2.2.3.8. <i>Overrun</i>	67
4.2.2.4. Análise estatística	67
4.2.3. Otimização das formulações de mousse através de análises sensoriais e de textura	68
4.2.3.1. Formulações e fluxogramas de processamento	68
4.2.3.2. Análises físicas, físico-químicas e químicas	68
4.2.3.2.1. Teor de gorduras	68
4.2.3.2.2. Teor de cinzas	69
4.2.3.2.3. Teor de carboidratos	69
4.2.3.2.4. Densidade aparente e <i>overrun</i>	69
4.2.3.2.5. Pesagem do produto final	70
4.2.3.3. Análise sensorial	70
4.2.3.4. Análise de textura	71
4.2.3.5. Análise estatística	74
4.3. Terceira Fase Experimental: estabilidade das mousses dos tratamentos ótimos	74
4.3.1. Delineamento experimental	74
4.3.2. Formulações e fluxograma de processamento	75
4.3.3. Análises físico-químicas e químicas	75
4.3.4. Análises microbiológicas	75
4.3.5. Análise sensorial	75
4.3.6. Análise de textura	76

4.3.7. Análise de estabilidade física	76
4.3.8. Análise estatística	76
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
5.1. Primeira fase experimental: desenvolvimento de formulações	77
5.1.1. Desenvolvimento da formulação básica de mousse de maracujá	77
5.1.2. Testes com diferentes agentes gelificantes, ingredientes substitutivos, agentes aerantes e condições de processo e armazenamento	79
5.2. Segunda fase experimental: otimização de formulações	84
5.2.1. Estudo das espumas	84
5.2.1.1. Composição dos agentes aerantes	84
5.2.1.2. pH, teor de sólidos solúveis totais, densidade e viscosidade dos xaropes de sacarose com agente aerante e <i>overrun</i> e densidade das espumas	85
5.2.1.3. Modelos preditivos obtidos a partir dos parâmetros <i>overrun</i> e densidade da espuma	94
5.2.1.3.1. Modelos preditivos obtidos para a gelatina	94
5.2.1.3.2. Modelos preditivos obtidos para o concentrado protéico de soro	99
5.2.1.3.3. Modelos preditivos obtidos para o caseinato de sódio	100
5.2.2. Otimização das formulações de mousse de maracujá através de análises sensoriais	108
5.2.2.1. Análises físicas, físico-químicas e químicas dos ingredientes, dos cremes e das mousses	108
5.2.2.1.1. pH, teor de acidez total titulável e sólidos solúveis totais dos ingredientes e dos cremes usados nas formulações de mousse	108
5.2.2.1.2. pH, teor de acidez total titulável e sólidos solúveis totais das mousses	109
5.2.2.2. Análises composicionais dos ingredientes e das mousses	110
5.2.2.3. Densidade aparente e <i>overrun</i> das mousses	111
5.2.2.3.1. Modelos preditivos obtidos a partir dos parâmetros <i>overrun</i> e densidade da mousse	113
5.2.2.4. Análise sensorial das mousses	117
5.2.2.4.1. Modelos preditivos obtidos a partir dos atributos sensoriais	123
5.2.2.4.1.1. Modelo preditivo obtido para a gelatina	124

5.2.2.4.1.2. Modelo preditivo obtido para o caseinato de sódio	124
5.2.3. Otimização das formulações de mousse de maracujá através de análises de textura	129
5.2.3.1. Análises de textura	129
5.2.3.1.1. Modelos preditivos obtidos a partir dos atributos de textura	149
5.2.3.1.1.1. Modelos preditivos obtidos para a gelatina	149
5.2.3.1.1.2. Modelos preditivos obtidos para o concentrado protéico de soro	151
5.3. Terceira fase experimental: estabilidade das mousses dos tratamentos ótimos	154
5.3.1. Análises físico-químicas e químicas	154
5.3.1.1. pH e teor de acidez total titulável dos cremes	154
5.3.1.2. pH e teor de acidez total titulável das mousses	155
5.3.2. Análises microbiológicas	156
5.3.2.1. Contagem de coliformes totais e fecais	156
5.3.2.2. Contagem de bolores e leveduras	157
5.3.3. Densidade e <i>overrun</i>	158
5.3.4. Análises sensoriais	160
5.3.5. Análises de textura	169
5.3.6. Análise de estabilidade física	188
6. CONCLUSÕES	190
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	193

ÍNDICE DE TABELAS

	página
TABELA 1. Métodos primários de aeração usados em diferentes tipos de alimento.	10
TABELA 1. Métodos primários de aeração usados em diferentes tipos de alimento (continuação).	11
TABELA 2. Valores típicos de parâmetros relacionados ao teor de ar de alimentos aerados.	12
TABELA 3. Mecanismos de estabilização de produtos aerados produzidos por diferentes métodos.	14
TABELA 4. Efeito da velocidade e do tempo de batimento na formação e estabilidade de espumas.	17
TABELA 5. Componentes e modo de preparo de formulações caseiras tradicionais de mousse de maracujá.	18
TABELA 6. Componentes e modo de preparo de formulações comerciais em pó de mousse de maracujá.	19
TABELA 7. Componentes de formulações comerciais de mousse de maracujá pronto para consumo.	20
TABELA 8. Capacidade de formação de espuma de soluções protéicas (pH 7, por batimento)	30
TABELA 9. Concentrações de diferentes agentes aerantes e respectivas texturas conferidas.	37
TABELA 10. Formulação básica de mousse de maracujá	57
TABELA 11. Tratamentos correspondentes ao delineamento experimental para o agente aerante gelatina (200 Bloom), com valores reais e codificados das variáveis independentes.	62
TABELA 12. Tratamentos correspondentes ao delineamento experimental para o agente aerante concentrado protéico de soro (CPS), com valores reais e codificados das variáveis independentes.	62

TABELA 13. Tratamentos correspondentes ao delineamento experimental para o agente aerante caseinato de sódio (CS), com valores reais e codificados das variáveis independentes.	63
TABELA 14. Teores de umidade e proteína bruta (PB) dos agentes aerantes usados nas formulações de mousse: gelatina de 200 Bloom (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS).	85
TABELA 15. Valores médios de pH, teor de sólidos solúveis totais (SST), densidade (D_x) e viscosidade (a 100 rpm, V_{100} , e a 180 rpm, V_{180}) dos xaropes de sacarose e agente aerante (AA, gelatina de 200 Bloom, G; concentrado protéico de soro, CPS; e caseinato de sódio, CS), <i>overrun</i> (OR) e densidade das espumas resultantes (D_e).	86
TABELA 16. Valores de pH e teores de acidez total titulável (ATT) e sólidos solúveis totais (SST) do leite condensado (LC), do suco de maracujá integral pasteurizado (SM) e dos cremes dos tratamentos com teores mínimos, médios e máximos de água adicionada, usados na elaboração das mousses	108
TABELA 17. Médias dos valores de pH e dos teores de acidez total titulável (ATT) e sólidos solúveis totais (SST) das mousses dos tratamentos com teores mínimos, médios e máximos de gelatina de 200 Bloom (G8, G6 e G9), concentrado protéico de soro (CPS8, CPS6, CPS9) e caseinato de sódio (CS8, CS6, CS9)	109
TABELA 18. Composição centesimal do leite condensado (LC) usado nas formulações e das mousses dos tratamentos ótimos com gelatina de 200 Bloom (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS).	110
TABELA 19. Densidade e <i>overrun</i> das mousses dos tratamentos com diferentes agentes aerantes (AA) - gelatina de 200 Bloom (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS).	112

TABELA 20. Médias dos resultados das análises sensoriais das mousses dos tratamentos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS)	118
TABELA 21. Médias dos resultados das análises de textura das mousses dos tratamentos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS)	132
TABELA 22. Valores de pH e teores de acidez total titulável (ATT) dos cremes dos tratamentos ótimos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS).	155
TABELA 23. Valores de pH e teores de acidez total titulável (ATT) das mousses dos tratamentos ótimos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS) durante o armazenamento refrigerado (7°C, r) e congelado (-20°C, c)	155
TABELA 24. Contagem de coliformes totais e fecais em amostras de mousse de tratamentos com diferentes agentes aerantes (gelatina, G; concentrado protéico de soro, CPS; caseinato de sódio, CS), armazenados sob refrigeração (r) ou congelamento (c) por diferentes períodos	157
TABELA 25. Contagem de bolores e leveduras em amostras de mousse de tratamentos com diferentes agentes aerantes (gelatina, G; concentrado protéico de soro, CPS; caseinato de sódio, CS), armazenados sob refrigeração (r) ou congelamento (c) por diferentes períodos	158
TABELA 26. Densidade e <i>overrun</i> das mousses dos tratamentos ótimos com diferentes agentes aerantes (AA) - gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS), adicionados (r) ou não (c) de conservantes	159
TABELA 27. Médias dos resultados de aceitação sensorial das mousses dos tratamentos ótimos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS), armazenados por refrigeração (r) e congelamento (c) por diferentes períodos	161

TABELA 28. Médias dos resultados das análises de textura das mousses dos tratamentos ótimos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS), armazenados por refrigeração (r) e congelamento (c) por diferentes períodos	169
TABELA 29. Líquido drenado e ar desincorporado (AD) durante o armazenamento refrigerado de mousses dos tratamentos ótimos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio	188

ÍNDICE DE FIGURAS

	página
FIGURA 1. Fluxograma do processamento de mousse de maracujá com o batimento em separado do creme e da espuma.	56
FIGURA 2. Fluxograma do processamento de mousse de maracujá com o batimento de todos os ingredientes conjuntamente.	56
FIGURA 3. Fluxograma de processamento de mousse de maracujá.	58
FIGURA 4. Preparação da espuma dos tratamentos com gelatina.	64
FIGURA 5. Preparação da espuma dos tratamentos com concentrado protéico de soro (CPS) ou caseinato de sódio (CS).	64
FIGURA 6. Ficha de análise sensorial	continua... 72
FIGURA 6. Ficha de análise sensorial (continuação).	73
FIGURA 7. Teor de sólidos solúveis totais (SST) e viscosidade a 100 e 180 rpm (V100 e V180) dos xaropes de sacarose com diferentes concentrações de gelatina de 200 Bloom.	88
FIGURA 8. Teor de sólidos solúveis totais (SST) e viscosidade a 100 e 180 rpm (V100 e V180) dos xaropes de sacarose com diferentes concentrações de concentrado protéico de soro.	88
FIGURA 9. Teor de sólidos solúveis totais (SST) e viscosidade a 100 e 180 rpm (V100 e V180) dos xaropes de sacarose com diferentes concentrações de caseinato de sódio.	89
FIGURA 10. Viscosidade, medida a 100 rpm (V100) e 180 rpm (V180), dos xaropes de sacarose com diferentes agentes aerantes (gelatina de 200 Bloom, G; concentrado protéico de soro, CPS; e caseinato de sódio, CS), na concentração de 1,0 %.	90
FIGURA 11. Gráfico de Superfície de Resposta para o overrun da espuma produzida utilizando-se gelatina de 200 Bloom.	95
FIGURA 12. Gráfico de Superfície de Resposta para a densidade da espuma produzida utilizando-se gelatina de 200 Bloom.	97
FIGURA 13. Gráfico de Superfície de Resposta para o overrun da espuma produzida utilizando-se concentrado protéico de soro.	101

FIGURA 14. Gráfico de Superfície de Resposta para a densidade da espuma produzida utilizando-se concentrado protéico de soro.	101
FIGURA 15. Gráfico de Superfície de Resposta para o overrun da espuma produzida utilizando-se caseinato de sódio.	103
FIGURA 16. Gráfico de Superfície de Resposta para a densidade da espuma produzida utilizando-se caseinato de sódio.	105
FIGURA 17. Gráfico de Superfície de Resposta para o overrun da mousse produzida utilizando-se concentrado protéico de soro.	115
FIGURA 18. Gráfico de Superfície de Resposta para a densidade da mousse produzida utilizando-se concentrado protéico de soro.	115
FIGURA 19. Médias dos resultados de aceitação global, avaliada utilizando-se escala hedônica estruturada de 9 pontos, das mousses dos tratamentos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS).	120
FIGURA 20. Médias dos resultados de textura, avaliada utilizando-se escala hedônica estruturada de 9 pontos, das mousses dos tratamentos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS).	122
FIGURA 21. Médias dos resultados de firmeza, avaliada utilizando-se escala do ideal estruturada de 9 pontos, das mousses dos tratamentos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS).	123
FIGURA 22. Gráfico de Superfície de Resposta para o atributo textura, avaliado sensorialmente, da mousse produzida utilizando-se gelatina de 200 Bloom.	125
FIGURA 23. Gráfico de Superfície de Resposta para o atributo aparência da mousse produzida utilizando-se caseinato de sódio.	127
FIGURA 24. Gráfico de Superfície de Resposta para o atributo aceitação global da mousse produzida utilizando-se caseinato de sódio.	129
FIGURA 25. Análise de Perfil de Textura da mousse do tratamento G1 (0,5 % de gelatina e 450 s de tempo de batimento)	135
FIGURA 26. Análise de Perfil de Textura da mousse do tratamento G4 (1,0 % de gelatina e 750 s de tempo de batimento)	135

FIGURA 27. Análise de Perfil de Textura da mousse do tratamento G6 (0,75 % de gelatina e 600 s de tempo de batimento)	137
FIGURA 28. Análise de Perfil de Textura da mousse do tratamento CPS1 (1,36 % de concentrado protéico de soro e 450 s de tempo de batimento)	137
FIGURA 29. Análise de Perfil de Textura da mousse do tratamento CPS4 (3,14 % de concentrado protéico de soro e 750 s de tempo de batimento)	139
FIGURA 30. Análise de Perfil de Textura da mousse do tratamento CPS6 (2,25 % de concentrado protéico de soro e 600 s de tempo de batimento)	139
FIGURA 31. Análise de Perfil de Textura da mousse do tratamento CS1 (1,0 % de caseinato de sódio e 450 s de tempo de batimento)	141
FIGURA 32. Análise de Perfil de Textura da mousse do tratamento CS4 (2,0 % de caseinato de sódio e 750 s de tempo de batimento)	141
FIGURA 33. Análise de Perfil de Textura da mousse do tratamento CS6 (1,5 % de caseinato de sódio e 600 s de tempo de batimento)	143
FIGURA 34. Gráfico de Superfície de Resposta para o parâmetro firmeza, avaliado em texturômetro, da mousse produzida utilizando-se gelatina de 200 Bloom	145
FIGURA 35. Gráfico de Superfície de Resposta para o parâmetro adesividade, avaliada em texturômetro, da mousse produzida utilizando-se gelatina de 200 Bloom	147
FIGURA 36. Gráfico de Superfície de Resposta para o parâmetro coesividade, avaliada em texturômetro, da mousse produzida utilizando-se gelatina de 200 Bloom	149
FIGURA 37. Gráfico de Superfície de Resposta para o parâmetro coesividade, avaliada em texturômetro, da mousse produzida utilizando-se concentrado protéico de soro	151
FIGURA 38. <i>Overrun</i> das mousses dos tratamentos ótimos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS), armazenados sob refrigeração (r) ou congelamento (c)	159

FIGURA 39. Médias dos resultados de aceitação global, avaliada utilizando-se escala hedônica estruturada de 9 pontos, das mousses dos tratamentos ótimos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS), armazenados sob refrigeração (r) e congelamento (c), por diferentes períodos (1, 4 e 7 dias e 1 e 15 dias, respectivamente)	162
FIGURA 40. Médias dos resultados de aceitação sensorial para o atributo textura, avaliado utilizando-se escala hedônica estruturada de 9 pontos, das mousses dos tratamentos ótimos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS), armazenados sob refrigeração (r) e congelamento (c), por diferentes períodos (1, 4 e 7 dias e 1 e 15 dias, respectivamente)	164
FIGURA 41. Médias dos resultados de aceitação sensorial para o atributo firmeza, avaliado utilizando-se escala do ideal estruturada de 9 pontos, das mousses dos tratamentos ótimos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS), armazenados sob refrigeração (r) e congelamento (c), por diferentes períodos (1, 4 e 7 dias e 1 e 15 dias, respectivamente).	165
FIGURA 42. Aceitação sensorial para o atributo aeração, avaliada utilizando-se escala do ideal estruturada de 9 pontos, das mousses dos tratamentos ótimos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS), armazenados sob refrigeração (r) e congelamento (c), por diferentes períodos (1, 4 e 7 dias e 1 e 15 dias, respectivamente)	166
FIGURA 43. Análise de Perfil de Textura das mousses do tratamento ótimo com gelatina (0,75 % de gelatina de 200 Bloom e 600 s de tempo de batimento), armazenada sob refrigeração por 1 dia	171
FIGURA 44. Análise de Perfil de Textura das mousses do tratamento ótimo com gelatina (0,75 % de gelatina de 200 Bloom e 600 s de tempo de batimento), armazenada sob refrigeração por 4 dias	171

FIGURA 45. Análise de Perfil de Textura das mousses do tratamento ótimo com gelatina (0,75 % de gelatina de 200 Bloom e 600 s de tempo de batimento), armazenada sob refrigeração por 7 dias	173
FIGURA 46. Análise de Perfil de Textura das mousses do tratamento ótimo com concentrado protéico de soro (3,50% de concentrado protéico de soro e 600 s de tempo de batimento), armazenada sob refrigeração por 1 dia	173
FIGURA 47. Análise de Perfil de Textura das mousses do tratamento ótimo com concentrado protéico de soro (3,50% de concentrado protéico de soro e 600 s de tempo de batimento), armazenada sob refrigeração por 4 dias	175
FIGURA 48. Análise de Perfil de Textura das mousses do tratamento ótimo com concentrado protéico de soro (3,50% de concentrado protéico de soro e 600 s de tempo de batimento), armazenada sob refrigeração por 7 dias	175
FIGURA 49. Análise de Perfil de Textura das mousses do tratamento ótimo com caseinato de sódio (0,80 % de caseinato de sódio e 600 s de tempo de batimento), armazenada sob refrigeração por 1 dia	177
FIGURA 50. Análise de Perfil de Textura das mousses do tratamento ótimo com caseinato de sódio (0,80 % de caseinato de sódio e 600 s de tempo de batimento), armazenada sob refrigeração por 4 dias	177
FIGURA 51. Análise de Perfil de Textura das mousses do tratamento ótimo com caseinato de sódio (0,80 % de caseinato de sódio e 600 s de tempo de batimento), armazenada sob refrigeração por 7 dias	179
FIGURA 52. Análise de Perfil de Textura das mousses do tratamento ótimo com gelatina (0,75 % de gelatina de 200 Bloom e 600 s de tempo de batimento), armazenada sob congelamento por 1 dia	179
FIGURA 53. Análise de Perfil de Textura das mousses do tratamento ótimo com gelatina (0,75 % de gelatina de 200 Bloom e 600 s de tempo de batimento), armazenada congelada por 15 dias	181

FIGURA 54. Análise de Perfil de Textura das mousses do tratamento ótimo com concentrado protéico de soro (3,50 % de concentrado protéico de soro e 600 s de tempo de batimento), armazenada sob congelamento por 1 dia	181
FIGURA 55. Análise de Perfil de Textura das mousses do tratamento ótimo com concentrado protéico de soro (3,50 % de concentrado protéico de soro e 600 s de tempo de batimento), armazenada sob congelamento por 15 dias	183
FIGURA 56. Análise de Perfil de Textura das mousses do tratamento ótimo com caseinato de sódio (0,80 % de caseinato de sódio e 600 s de tempo de batimento), armazenada sob congelamento por 1 dia	183
FIGURA 57. Análise de Perfil de Textura das mousses do tratamento ótimo com caseinato de sódio (0,80 % de caseinato de sódio e 600 s de tempo de batimento), armazenada sob congelamento por 15 dias	185
FIGURA 58. Líquido drenado durante o armazenamento refrigerado das mousses dos tratamentos ótimos com gelatina (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS)	189

RESUMO

A mousse de maracujá é um produto muito consumido no Brasil e, apenas muito recentemente, produzido em escala industrial. A Legislação Brasileira não define os padrões de identidade e qualidade do produto mousse, o que permite a apresentação no mercado de produtos de composição e com características muito diferentes, sob esta designação. Basicamente, os ingredientes funcionais de uma formulação de mousse e sua concentração são definidos em função das suas propriedades de formação e estabilização de espuma. O grau de aeração e a estabilidade física deste produto dependem de fatores relacionados à sua formulação e processamento. O presente trabalho teve como objetivo estudar o efeito do uso de diferentes ingredientes, agentes aerantes/gelificantes e condições de processamento e armazenamento nas características físicas e sensoriais e na estabilidade do produto mousse de maracujá. Os agentes aerantes/gelificantes protéicos avaliados no estudo de espumas e otimização de formulações de mousse foram gelatina (de 200 Bloom), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS). As variáveis estudadas foram concentração de agente aerante/gelificante e tempo de batimento do xarope de sacarose com agente aerante/gelificante. Para estes estudos utilizou-se Metodologia de Superfície de Resposta, adotando-se um delineamento fatorial 2^2 , com três pontos centrais e dois pontos axiais por variável (Delineamento Composto Central), correspondendo a 11 tratamentos por agente aerante/gelificante. No estudo de espumas foram realizadas as análises de pH, teor de acidez total titulável (ATT) e sólidos solúveis totais (SST), densidade e viscosidade dos xaropes de sacarose com agente aerante/gelificante e de *overrun* e densidade das espumas. No estudo da otimização de formulações, os cremes e as mousses foram analisados quanto ao pH, ATT, SST e composição centesimal. Durante o processamento, as mousses foram avaliadas quanto ao *overrun* e densidade. As análises sensoriais consistiram em testes de consumidor. A textura foi avaliada instrumentalmente, em texturômetro, através de Análise de Perfil de Textura (APT). A partir dos resultados de *overrun* e densidade das espumas e das mousses e das análises sensoriais e de textura para diferentes atributos foram obtidos modelos preditivos e traçados gráficos de Superfície de Resposta. Os tratamentos ótimos com os diferentes agentes aerantes/gelificantes foram avaliados quanto à estabilidade, armazenados sob refrigeração e congelamento, por 1, 4 e 7 dias e por 1 e 15 dias,

respectivamente. Foram realizadas análises físico-químicas, químicas, microbiológicas, sensoriais, de textura (APT) e de estabilidade física. Os resultados de *overrun* e densidade das espumas variaram de 393,75% a 750,00% e de 0,2280 a 0,1310, para os tratamentos com gelatina; de 191,67% a 613,33% e de 0,3804 a 0,1496, para os com CPS; e de 438,33% a 614,17% e de 0,2038 a 0,1528, para os com CS. Os modelos obtidos com base nos resultados de *overrun* das espumas foram lineares e tiveram como efeitos significativos, positivos, a concentração de agente aerante e o tempo de batimento; os modelos obtidos a partir dos resultados de densidade das espumas foram de segunda ordem, tendo sido significativos os efeitos linear (negativo) e quadrático da concentração de agente aerante e o efeito linear (negativo) do tempo de batimento. O valor máximo de *overrun* das mousses dos tratamentos com gelatina foi de 154,47%; dos tratamentos com CPS foi de 195,76%; e dos tratamentos com CS foi de 157,71%. De maneira geral, as mousses dos diferentes tratamentos receberam notas próximas a 7 (“gostei moderadamente”) para a aceitação global. Os atributos que sofreram influência das variáveis estudadas foram aparência, textura e firmeza. As melhores formulações foram as com 0,75% de gelatina e 10 min de batimento, com 3,50% de CPS e 10 min de batimento, que produziram mousses de textura firme e aerada, e com 0,80% de CS e 10 min de batimento, que apresentaram menor precipitação da caseína. Para a textura, os atributos que tiveram relação com as variáveis em estudo foram firmeza, adesividade e coesividade. De maneira geral, quanto maior o teor de agente aerante/gelificante, maior a firmeza e a adesividade e menor a coesividade da mousse. No estudo de estabilidade, os tratamentos refrigerados tiveram maior aceitação sensorial que os congelados, não tendo havido influência do tempo de armazenamento na aceitação das amostras. A textura foi afetada pela condição e tempo de armazenamento das mousses. Quanto à estabilidade física, a mousse do tratamento com gelatina não apresentou drenagem de líquidos durante os 7 dias de armazenamento refrigerado; a mousse do tratamento com CPS apresentou drenagem de líquidos no terceiro dia; e a do tratamento com CS foi a menos estável, tendo apresentado drenagem de líquidos já com 18 horas de armazenamento. Também quanto à perda de ar incorporado, a mousse com gelatina foi mais estável que a dos outros dois tratamentos.

SUMMARY

Passion fruit mousse is a highly consumed product in Brazil, and its production on an industrial scale has recently started. Brazilian legislation has yet to define identity and quality standards for mousse, which allows for the appearance of products of very varied composition and characteristics on the market, all bearing the name of mousse. Basically, the functional ingredients and their concentration in a mousse formulation, are defined as a function of their foam forming and stabilisation properties. The degree of aeration and the physical stability of the product depend on factors related to their formulation and processing. By way of tests with different ingredients, gel forming and aeration agents, and the conditions of processing (temperature, whipping system and speed) and storage, this research aimed at obtaining a formulation for a mousse with good organoleptic characteristics and physical stability. The aerating agents used in the study of foams and in the optimisation of the mousse formulations were gelatine with a Bloom of 200°, whey protein concentrate (WPC) and sodium caseinate (SC). The variables studied were concentration of the aeration agent and whipping time of the sucrose syrup with the aeration agent. Response surface methodology was used for these studies, adopting a 2^2 factorial design, with three central points and two axial points per variable (central compound design), corresponding to 11 treatments per aeration agent. In the study of foams, the following analyses were carried out: pH, total titratable acidity (TTA), total soluble solids (TSS), density and viscosity of the sucrose syrups containing aeration agents and the overrun and density of the foams. In the study of the optimisation of the formulation, the creams and the mousses were analysed with respect to pH, TTA, TSS and composition. During processing, the mousses were evaluated with respect to overrun and density. The sensory analyses consisted of consumer tests. Texture was evaluated instrumentally in a texturometer, by way of the Texture Profile Analysis (TPA). Using the data for overrun and density of the mousses and foams and the sensory and texture results for the different attributes, predictive models were obtained and response surfaces drawn. The best treatments for the different aeration agents were evaluated with respect to stability during refrigerated and frozen storage for 1, 4 and 7 days and for 1 and 15 days respectively. The evaluations included physico-chemical, chemical and microbiological analyses, sensory and texture (TPA) evaluations and physical stability. The data for overrun and density of the foams varied from 393.75 to 750.00% and from

0.2280 to 0.1310 for the treatments with gelatine, from 191.67 to 613.33% and from 0.3804 to 0.1496 for the WPC, and from 438.33 to 614.17% and from 0.2038 to 0.1528 for the SC. The models obtained based on the data for overrun of the foams were linear and presented significant positive effects for the concentration of aeration agent and whipping time. The models obtained with the data for density of the foams were of second order, with the linear (negative) and quadratic effects being significant for the concentration of the aeration agent and the linear (negative) effect for whipping time. The maximum value for the overrun of the mousses made with gelatine was 154.47%, for those made with WPC it was 195.76% and with SC it was 157.71%. In general the mousses from the different treatments received scores of about 7 (liked moderately) for global acceptance, The attributes most affected by the variables studied were appearance, texture and firmness. The best formulations were those with 0.75% gelatine and 10 minutes whipping and with 3.50% WPC and 10 minutes whipping, both of which produced mousses with a firm aerated texture, and with 0.80% SC and 10 minutes whipping, which produced the least precipitation of casein. For texture, the attributes related to the variables under study were firmness, adhesiveness and cohesiveness. In general, the greater the concentration of aeration agent, the greater the firmness and adhesiveness and the lower the cohesiveness of the mousse. In the stability study, the refrigerated samples were more appreciated than the frozen samples, the storage time having no effect on sample acceptance. Texture was affected by the conditions and time of storage. With respect to physical stability, the mousses containing gelatine showed no leakage during the seven days of refrigerated storage, those made with WPC showed leakage as from the third day of storage and the SC samples were the least stable, showing leakage after only 18 hours of storage. The gelatine mousses were also more stable with respect to loss of incorporated air, as compared to the other two treatments.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de maracujá. Esta fruta é comercializada no varejo, *in natura*, ou na forma de suco pasteurizado congelado ou concentrado congelado, principais produtos industrializados do maracujá. A partir do suco de maracujá, integral ou concentrado, podem ser obtidos diversos produtos derivados, como néctar, refresco em pó, bebida à base de proteína hidrossolúvel de soja adicionada de suco de maracujá, iogurte, sorvete, geléia, dentre outros (SILVA, 1999), sendo esta uma forma de agregar valor e promover o aumento do consumo desta fruta. A mousse de maracujá, produto muito apreciado no Brasil e consumido, principalmente, como sobremesa caseira, poderia representar mais uma opção para o aproveitamento desta fruta.

Os limitantes para a produção industrial da mousse de maracujá são, basicamente, o elevado custo e a baixa estabilidade deste produto. A mousse apresenta uma estrutura complexa, composta por uma espuma estabilizada por um gel protéico. A estabilidade deste sistema depende de muitos fatores, como pH, concentração de sólidos e lipídios, tipo e concentração de agente aerante e estabilizante e condições de processamento (como o método de aeração) e armazenamento.

O interesse por produtos aerados, como a mousse, é crescente. O desenvolvimento de novos produtos aerados tem sido favorecido pelo avanço da tecnologia de aeração (NIRANJAN, 1999) e pela descoberta de novos ingredientes funcionais com atividade de superfície (CAMPBELL & MOUGEOT, 1999).

A aeração de um alimento resulta em características de volume e textura muito particulares, agradáveis ao consumidor (JEFFERY, 1972). Neste tipo de produto, o ar, componente do sistema, não representa um custo como “matéria-prima” (STANLEY *et al.*, 1996), mas o processo mecânico de aeração tem custos e requer trabalho e conhecimento técnico.

Embora este setor da indústria de alimentos venha crescendo e se modernizando, a bibliografia nacional sobre tecnologia de produtos aerados é escassa, e os poucos dados da bibliografia internacional, em geral na forma de patentes, não podem ser

adotados diretamente, uma vez que nem sempre são adequados à matéria-prima nacional (MAGALHÃES, 1996; AULER *et al.*, 2000). Sendo assim, novos estudos sobre o assunto são imprescindíveis para o desenvolvimento do setor de produtos aerados no Brasil.

Os mecanismos de formação e estabilização de espumas não foram ainda completamente elucidados. Apresentam-se como obstáculos para uma melhor compreensão destes mecanismos a indisponibilidade de ferramentas analíticas e a dificuldade da interpretação dos resultados analíticos referentes ao comportamento das bolhas e sua relação com a textura e a qualidade dos alimentos (CAMPBELL & MOUGEOT, 1999).

Embora haja uma grande variedade de produtos aerados, existem, para produtos diferentes, semelhanças no que se refere ao sistema espuma. Sendo assim, a compreensão de um sistema pode fornecer informações para o estudo de outro. Da mesma forma, técnicas experimentais desenvolvidas em uma área podem ser transferidas para o estudo de outros alimentos aerados.

2. OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho foram:

1. Desenvolver uma formulação básica e um fluxograma de processamento de mousse de maracujá;
2. Testar diferentes ingredientes substitutivos na formulação de mousse de maracujá;
3. Testar diferentes agentes aerantes/gelificantes na formulação de mousse de maracujá;
4. Estudar a capacidade de formação de espuma dos agentes aerantes/gelificantes gelatina, concentrado protéico de soro e caseinato de sódio, em diferentes concentrações e tempos de batimento do xarope de sacarose com agente aerante/gelificante;
5. Otimizar a formulação de mousse de maracujá com o uso de gelatina, concentrado protéico de soro e caseinato de sódio, variando a concentração de agente aerante/gelificante e o tempo de batimento do xarope de sacarose com agente aerante/gelificante;
6. Avaliar a estabilidade das mousses dos tratamentos ótimos com gelatina, concentrado protéico de soro e caseinato de sódio;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Produtos aerados

Produtos aerados são obtidos pela incorporação de ar ou de um ou mais gases, por diferentes processos, a uma mistura de ingredientes que inclui um agente aerante e um agente estabilizante de espuma ou pela produção de gases, química ou fermentativa, durante o processamento.

Existe uma grande variedade de produtos aerados, com características composicionais e físicas muito distintas, como bebidas (água, refrigerantes, cervejas, vinhos), produtos lácteos (cremes, recheios, coberturas, mousses, sobremesas geladas, sorvetes, "milkshakes", manteigas, queijos, "Cappuccino"), produtos à base de ovos ("soufflés", omeletes, merengues, suspiro, pão-de-ló, papo-de-anjo), confeitos e chocolates ("frappés", "marshmallows", "fondants", "nougats", barras de chocolate, caramelos, gomas de mascar), produtos de panificação e massas (pães, folhados, "croissants", rosquinhas, biscoitos, bolachas, "wafers", bolos, "waffles", panquecas, massas) e outros produtos de cereais (extrusados, "snacks", cereais matinais, flocos de milho, pipoca).

Alguns produtos aerados, como o pão e a cerveja, são produzidos há milênios, enquanto outros surgiram com a descoberta e o desenvolvimento de novos ingredientes e tecnologias de processamento. A produção de espumas a partir da clara do ovo só alcançou seu potencial máximo no século XVIII, quando o açúcar se tornou largamente disponível, permitindo a elaboração de produtos como merengues, e quando "chefes de cozinha" profissionais desenvolveram o "soufflé". Outros produtos aerados surgiram em decorrência da capacidade natural de estabilizar espumas de alguns ingredientes, como por exemplo o glúten do trigo, proteínas da clara do ovo e glóbulos de gordura do leite.

O interesse por produtos aerados é crescente, principalmente devido ao seu apelo de "novidade" e à versatilidade do uso de bolhas como ingredientes alimentícios (CAMPBELL & MOUGEOT, 1999). Muitos produtos aerados, como algumas bebidas

(água, cervejas e vinhos), adquirem uma imagem de marketing positiva destacando as bolhas. Em outros, a leveza física do produto é associada à imagem positiva de produtos "light" (com calorias reduzidas).

O desenvolvimento de novos produtos aerados tem sido favorecido pelo avanço da tecnologia de aeração (NIRANJAN, 1999) e pela descoberta de novos ingredientes funcionais com atividade de superfície.

3.1.1. Efeitos da aeração

Os principais efeitos da aeração são: a. diminuição da densidade do produto; b. alteração das características reológicas e de textura; c. aumento da capacidade de absorção de líquidos (devido ao aumento da área superficial); d. diminuição da intensidade de sabor; e. alteração da digestibilidade; e f. redução da vida-de-prateleira (pelo favorecimento de reações de oxidação) (CAMPBELL & MOUGEOT, 1999).

O processo de aeração promove poucos benefícios nutricionais. Uma estrutura aerada pode facilitar a mastigação. Em alguns produtos, como cereais, a digestibilidade pode ser melhorada pela aeração (KENT & EVERS, 1994; PARKER *et al.*, 1999).

Os efeitos positivos da aeração estão relacionados principalmente à reologia e à textura do alimento. Produtos originalmente fluidos, quando aerados tomam-se moldáveis e podem adotar formas mais atraentes, como os merengues; outros, como cremes e mousses, adquirem textura sólida e macia. Produtos sólidos e duros, como cereais matinais e "snacks", quando aerados adquirem textura leve e crocante. A carbonatação de refrigerantes produz a sensação de "formigamento", característica destas bebidas (DESSIRIER *et al.*, 1999), além de ter ação conservante. A aeração também confere melhor aparência ao alimento, como em vinhos, cervejas, pães e barras de chocolate, podendo ainda ser um indicativo de qualidade.

3.1.2. Classificação dos produtos aerados

Os produtos aerados podem ser classificados cronologicamente ou de acordo com o tipo, o processo de aeração, o conteúdo de ar, a reologia, a estabilidade ou o mecanismo de estabilização do alimento.

De acordo com o tipo de alimento, sete grandes grupos podem ser identificados (CAMPBELL & MOUGEOT, 1999):

- a. Bebidas: refrigerantes carbonatados, cervejas, vinhos espumantes;
- b. Produtos lácteos: cremes batidos, sobremesas lácteas, mousses, sorvetes, "milkshakes", manteigas, queijos;
- c. Produtos à base de ovo: "soufflés", omeletes, merengues, "poviovas";
- d. Produtos de confeitaria e chocolates: doces aerados, "marshmallows", caramelos, "nougats", "honeycombs", barras de chocolate aerado, barras crocantes;
- e. Produtos de panificação: pães, "croissants", "vol au vents", biscoitos, "crackers", bolos, "crumpets", massas;
- f. Outros produtos à base de cereais: produtos extrusados e expandidos, cereais matinais, "snacks", pipocas;
- g. Outros: incluindo, por exemplo, produtos como espumas vegetais, espumas cámeas, "fruit folls".

3.1.3. Métodos de aeração

Os seguintes processos podem ser usados para a elaboração de produtos aerados:

- a. Fermentação, processo no qual a aeração é obtida pela produção de dióxido de carbono por leveduras em, por exemplo, pães, cervejas e vinhos. O dióxido de carbono se difunde em bolhas, também aprisionadas durante a mistura da massa, em pães (BAKER & MIZE, 1941; SHAH *et al.*, 1998), ou ligado a partículas, em cervejas e vinhos (PANDIELLA *et al.*, 1999);
- b. Uso de agentes químicos como fermentos, em bolos, e bicarbonato de sódio, em alguns pães, "honeycomb" e doce de leite (LEES & JACKSON, 1973);

- c. Geração de vapor por cozimento, forneamento ou fritura de lentos a moderados, por exemplo em "crumpets", "doughnuts", "piklets" e "waffles". A geração de vapor é frequentemente acompanhada pela evaporação de outros componentes dissolvidos na massa (por exemplo, dióxido de carbono e etanol) e pela expansão térmica dos gases já presentes nas bolhas. Segundo BLOKSMA (1990), a evaporação da água contribui com mais da metade do volume expandido, sendo o restante devido à saída do gás carbônico da massa e à expansão térmica;
- d. Fritura em óleo muito quente, de maneira a formar rapidamente vapor interno, que faz com que o produto estufe;
- e. Aquecimento seco rápido de produtos pequenos ou pouco espessos, de forma a induzir o "blistering", por exemplo em flocos de milho e batatas crocantes, ou um leve estufamento, por exemplo em trigo ou legumes micronizados;
- f. Extrusão/expansão, processo no qual produtos superaquecidos sob pressão são expostos repentinamente a condições atmosféricas de temperatura e pressão, de forma que a umidade vaporiza-se imediatamente, usado na produção de cereais, "snacks" e confeitos;
- g. Estufamento, no qual produtos contendo umidade superaquecida são sujeitos a uma liberação de pressão súbita, empregado na produção de cereais;
- h. Expansão a vácuo, seguida por rápido resfriamento, de forma a manter o produto expandido, processo usado, por exemplo, em produtos como barras de chocolate;
- i. Batimento de líquidos de viscosidade baixa ou média, com aprisionamento de ar, como, por exemplo, claras em neve, "frappés", "milkshakes", cremes e massas de bolo. Durante o batimento, as bolhas de ar aumentam e se desprendem do líquido, de forma que a distribuição do conteúdo de ar e do tamanho das bolhas depende dos graus relativos de aprisionamento e desprendimento de ar. Cristais de gordura auxiliam a incorporação de ar, em sorvetes e massas de bolo (MCGEE, 1984; JEWELL & HEATHCOCK, 1988);
- j. Mistura de pastas ou massas de alta viscosidade, nas quais as bolhas de ar são aprisionadas conforme as superfícies são unidas. A alta viscosidade da pasta ou massa evita o aumento e desprendimento das bolhas, embora ocorra o desprendimento simultaneamente com o aprisionamento de ar quando uma nova superfície é formada. Em alguns casos, por exemplo em cremes, líquidos inicialmente de baixa a média viscosidade têm sua viscosidade aumentada durante o batimento, devido à liberação de componentes protéicos e lipídicos e à incorporação de bolhas

de ar, de forma que ao final da operação de batimento a viscosidade é próxima à de uma massa. Em misturas de manteiga e açúcar, os cristais de açúcar auxiliam a aeração durante o batimento (SMITH, 1979; MCGEE, 1984; LINDLEY, 1988), similamente à ação dos cristais de gordura em sorvetes e massas de bolo. Em ambos os casos, o tamanho da partícula de cristal afeta a aeração. Em alguns tipos de pães, a incorporação de bolhas de ar pela mistura forma um sítio que favorece a produção fermentativa de dióxido de carbono (BAKER & MIZE, 1941);

- k. Aprisionamento de ar entre camadas folhadas, como em “croissants”, ou entre fios “puxados”, como em caramelos;
- l. Dissolução de ar ou gases por batimento sob pressão, por exemplo em xaropes, misturas de gorduras ou chocolates, para a produção de confeitos. O batimento sob pressão resulta em uma espuma muito fina;
- m. Injeção de gases, por exemplo de ar ou nitrogênio, em sorvetes ou confeitos, de dióxido de carbono, em refrigerantes, e de óxido nitroso, em cremes batidos instantâneos;
- n. Casos especiais, como o uso de uma placa quente ou forno de microondas para cozinhar e expandir pipoca, ou a liofilização de partículas de café para aumentar sua porosidade, ou a formação de espuma no “Cappuccino” por injeção de vapor, ou a mistura da massa de pão com água carbonatada sob pressão, para a obtenção de aeração sem o uso de fermento.

Estes processos podem ser classificados ainda em três categorias, segundo GERMAN (1990):

- Geração de gás *in situ*, por exemplo por fermentação biológica ou química, formação de vapor por aplicação de calor e/ou redução de pressão ou evaporação de dióxido de carbono com a liberação de pressão.
- Processos nos quais o líquido é ativamente forçado contra um gás externo, por exemplo batimento e aprisionamento entre camadas;
- Processos nos quais o gás é ativamente forçado contra um líquido, por exemplo injeção de gás;

A maior parte dos métodos listados anteriormente se enquadra na primeira categoria, sendo o vapor e o dióxido de carbono os gases mais comumente gerados em alimentos.

Alguns destes métodos são específicos para um tipo de alimento (por exemplo, o estufamento para cereais), enquanto outros são aplicados mais genericamente (como o batimento de soluções protéicas, cremes e massas). A Tabela 1. relaciona os métodos primários usados para a aeração de alguns alimentos; a Tabela 2. apresenta valores típicos de parâmetros relacionados ao teor de ar de alimentos aerados. A geração de vapor e a expansão térmica, quando não são o mecanismo primário, contribuem como mecanismo secundário para a aeração.

Para confeitos, especificamente, os principais métodos de aeração utilizados, segundo MINIFIE (1989), são:

- Métodos químicos envolvendo o uso de bicarbonato de sódio;
- “Flaking”;
- Extrusão;
- Expansão a vácuo;
- Batimento mecânico;
- Método de “puxar e amassar”;
- Injeção de ar ou gás sob pressão;

3.1.4. Estabilidade dos produtos aerados

Sistemas aerados são inerente e termodinamicamente instáveis. A estabilidade é afetada, principalmente, pela reologia do sistema. Produtos lácteos e à base de ovos aerados e semi-sólidos, como cremes e clara de ovo batidos, são estáveis por várias horas, enquanto sorvetes e merengues, estabilizados por congelamento e secagem, respectivamente, mantêm-se estáveis por um período muito maior (no caso dos merengues, a adição de açúcar fortalece a matriz protéica, também contribuindo para a estabilidade do sistema). A estabilidade das espumas lácteas varia de dez minutos, para “milkshakes”, horas ou dias, para cremes batidos, semanas ou meses, para mousses, a

TABELA 1. Métodos primários de aeração usados em diferentes tipos de alimento.

Processo de Aeração	Tipo de Alimento						
	Bebidas	Produtos Assados	Outros produtos de cereais	Produtos lácteos	Produtos à base de ovos	Chocolates e confeitos	Outras
Fermentação	- Cervejas - Vinhos - "Ginger beer" (bebida à base de gengibre)	- Pães - "Crackers" - "Crumpets" (bolos assados na grelha) - "Pikelets" - "Stollen"	-Produtos fermentados extrusados	- Queijo Sulgo			
Batimento	- Massas - "Yorkshire puddings"	- Cremes - Mousses - "Milkshakes" - "Sherbets" (sorvetes tipo picolé) - Sobremesas geladas	- Mereques - "Soufflés" - Omeletes - "Sponge cake" (pão de ló) - "Angel cake" (papo de anjo) - "Chiffon cake" - "Zabaglione" (sobremesa italiana à base de ovos e bebida alcohólica)	- "Frappés" - "Marshmallows"	- "Fruit folls" - "Sorbetes" (sorvetes tipo picolé) - "Espumas cárneas" - "Espumas de peixe"		
Mistura de massas e pastas	- Massas de bolo - Massas de biscoito	- Manteigas cremosas - Queijos cremosos - Cremes de manteiga e açúcar para bolos	- "Choux pastry"	- "Fondant" - "Nougat" - Chocolates	- Cremes - "Icings" - Manteiga de amendoim - "Preparados de Snacks" - Massas cárneas		
Geração de vapor, expansão térmica	- Pães sem fermento - Panquecas - "Doughnuts" (rosquinhas fritas) - Bases para pizzas - "Wafers" - "Yorkshire puddings"					- Trigo e lentilha micronizados	

continua...

TABELA 1. Métodos primários de aerção usados em diferentes tipos de alimento (continuação).

Processo de Aerção		Tipo de Alimento					
	Bebidas	Produtos Assados	Outros produtos de cereais	Produtos lácteos	Produtos à base de ovos	Chocolates e confeitos	Outros
Aprisionamento, "puxamento"		- "Puff pastry" - "Croissants" - "Vol au vents"				- "Pulled taffy" - "Flaked chocolate" - "Boiled sweets"	
	Fritura	- "Poppadoms"	- "Snacks"				- "Potato crisps" - "Buble and squeak"
Agentes produtores de gás			- Bolos - "Waffles" - Pães com bicarbonato de sódio	- Produtos extrusados com bicarbonato de sódio		- "Honeycomb" - "Brittles" - "Boiled sweets"	
	Aquecimento seco rápido		- "Cornflakes" - Trigo micronizados				- "Crisps"
Injeção de gás	- Refrigerantes			- "Creme batido instantâneo"		- "Boiled sweets" - Gomas de mascar	
Extrusão		- "Crispbreads"	- Cereais matinais			- "Marshmallows" - Chocolates	- "Snacks" - Rações
	Batimento sob pressão			- Sorvetes		- "Chocolates" - "Toffees" - Caramelos - Recheios	
Estufamento			- Cereais matinais				- "Snacks"
Expansão sob vácuo						- Barras de chocolate - Doces - Gomas	
Especiais	- "Widgets in canned beer"	- Pães carbonatados	- Pipocas - "Popped sorghum"	- "Cappuccino"	- "Microwaved egg"		- Café liofilizado

Fonte: CAMPBELL & MOUGEOT, 1999

TABELA 2. Valores típicos de parâmetros relacionados ao teor de ar de alimentos aerados.

Alimento	Densidade (g/cm ³)	Densidade sem gases (g/cm ³)	Volume específico (cm ³ /g)	Overrun (%)	Conteúdo de ar (%)
Pipoca	<0,07	1,40	>14	>1900	>95
Bolo de arroz	0,11-0,113	1,35-1,40	7,5-9	950-1150	90-92
"Puffed rice"	0,13-0,17	1,35-1,40	6-8	700-950	88-90
Produtos extrusados	0,10-0,33	1,25-1,40	3-10	300-900	75-90
Merengue	0,17-0,18	1,55	5,6-6	750-800	88-90
Clara em neve	0,15-0,20	1,04	5,6-5	500-600	80-85
Pão de forma	0,20-0,35	1,25	3-5	250-550	72-85
"Sponge cake" (pão de ló)	0,25-0,35	1,25	3-4	230-400	70-80
"Risen dough"	0,25-0,40	1,25	2,5-4,	200-400	68-80
"Marshmallow"	0,35-0,45	1,4	2,2-2,9	200-300	68-75
Bolo	0,35-0,40	1,25	2,5-3	200-250	68-72
Creme batido	0,40-0,60	1,01	1,7-2,5	70-150	40-60
Sorvete (duro)	0,54-0,55	1,09-1,10	1,8-1,85	100	50
Massas de bolo	0,55-0,80	1,15	1,25-1,8	40-100	30-50
Barra de chocolate aerado	0,70-0,80	1,30-1,35	1,25-1,45	65-80	40-45
"Nougat"	0,80-0,90	1,3	1,1-1,25	40-65	30-40
"Fruit fool"	0,75-0,80	1,05-1,07	1,25-1,35	32-40	25-30
Sorvete (macio)	0,78-0,80	1,09-1,10	1,26-1,27	40	28
"Milkshake"	0,90-0,95	1,025-1,035	1,05-1,1	10-15	9-13
Trigo micronizado	1,15-1,25	1,3-1,4	0,8-0,9	7,5-12	7-11
Massa de pão	1,15-1,20	1,25-1,26	0,83-0,87	4-9	4-8
Grãos de trigo	1,25-1,35	1,35-1,45	0,75-0,8	2-3	2-3

Densidade (ρ) = massa do produto batido/ volume do produto batido

Densidade sem gás (ρ_{gl}) = massa do produto não-batido / volume do produto não-batido

Overrun = [(peso do produto não-batido/volume – peso do produto batido/volume) / peso do produto batido/volume] x 100

Teor de ar = (1 – densidade/densidade sem gás) x 100% = (overrun/overrun + 100) x 100%

Overrun = (densidade sem gás/densidade – 1) x 100% = (teor de ar/100 – teor de ar) x 100%

Fonte: CAMPBELL & MOUGEOT, 1999

vários anos, para sorvetes. Em produtos de panificação, a estrutura aerada é estabilizada por aquecimento, que causa a desnaturação das proteínas e a gelatinização do amido. Em produtos extrusados e expandidos e em confeitos e chocolates, as bolhas de ar são aprisionadas por uma matriz sólida, e o sistema é estável por meses ou anos.

Devido ao fato dos alimentos aerados serem termodinamicamente instáveis, as bolhas presentes no sistema precisam ser estabilizadas. A estabilidade está relacionada à reologia do sistema e é conferida por diferentes mecanismos. São estabilizantes os agentes superfície ativos (proteínas e emulsificantes), cristais de gordura sólidos (em cremes batidos) ou gelo (em sorvetes), em uma fase líquida de alta viscosidade, ou por uma matriz contínua semi-sólida ou sólida. A gelatina é largamente utilizada para estabilizar a matriz contínua de espumas em sobremesas. As proteínas do soro, em particular a β -lactoglobulina, contribuem para a formação e a estabilização de espumas em diversos produtos (HOLT, 1999; MACKIE *et al.*, 1999; MARIN & RELKIN, 1999). Em muitos casos, diferentes mecanismos estabilizantes agem conjuntamente; em outros, agem consecutivamente.

A Tabela 3. descreve o mecanismo primário de estabilização de diferentes produtos aerados, mostrando que o mecanismo pode ser similar para alimentos diferentes, por exemplo, espumas de cervejas e de ovos são ambas estabilizadas por proteínas. Além disto, agentes superfície ativos são largamente utilizados para aumentar a estabilidade conferida por outros mecanismos.

Proteínas e emulsificantes são ambos agentes superfície ativos, capazes de reduzir a tensão superficial em uma interface, diminuindo a tendência termodinâmica de minimização da área interfacial. Porém, proteínas e emulsificantes têm estruturas químicas muito diferentes, e o mecanismo pelo qual estabilizam bolhas em alimentos difere. Emulsificantes típicos são cadeias curtas de ácidos graxos com uma extremidade polar; em uma interface de bolha, a porção polar hidrofílica liga-se à fase líquida, enquanto a cadeia lipídica hidrofóbica liga-se ao ar. As proteínas, contrariamente, são moléculas de cadeia longa compostas por aminoácidos. Algumas partes da molécula protéica são hidrofóbicas, outras hidrofílicas. Estas moléculas têm a capacidade de se desdobrar à interface da bolha, de forma que as porções hidrofílicas posicionem-se na água e as hidrofóbicas no ar (STAUFFER, 1999).

TABELA 3. Mecanismos de estabilização de produtos aerados produzidos por diferentes métodos.

Mecanismos de estabilização	Método de aeração	
	Líquido forçado contra um gás externo (batimento, mistura de massas, "acamadamento")	Gás forçado através de um líquido (injeção)
Proteínas	"Milkshakes", "soufflés", "zabaglione" (sobremesa italiana à base de ovos e bebida alcoólica), "marshmallows", espumas de ovos	"Widget in beer", refrigerantes, "Cappuccino"
Cristais de gordura		
Cristais de gelo		
Alta viscosidade/semi-sólido	Creme batido, "Puff pastry" Sorvetes, sobremesas geladas Massas, massa de pão, "pastries", massas de bolo, manteiga cremosa e açúcar, sobremesas lácteas, manteiga de amendoim, massas cárneas, "fruit fools", "sorbets" (sorvetes tipo picolé), "fondants", "Yorkshire puddings"	Creme batido instantâneo "Pikelets", panquecas, queijo suíço, chichetes
Matriz sólida de amido	Pães, "crackers", "crumpets" (bolos assados na grelha), bolos, "waffles", "pastries", "poppadoms"	Pães, "crackers", "crumpets" (bolos assados na grelha), bolos, "waffles", pães crocantes, "snacks", batatas crocantes, "cornflakes" (flocos de milho), cereais matinais, pipocas, "pastries", "poppadoms"
Açúcar	Merengues, "taffy"	"Honeycomb", "boiled sweets"
Gordura	Barra de chocolate	Barra de chocolate

Fonte: CAMPBELL & MOUGEOT, 1999

As bolhas podem romper-se ou coalescer com a diminuição da espessura da interface. Os emulsificantes estabilizam bolhas pelo efeito Gibbs-Marangoni, de modo que se ocorre uma diminuição de espessura local, o surfactante rapidamente se difunde na área de depleção, arrastando consigo líquidos, e restaura a espessura da região. Já as proteínas têm baixa capacidade de difusão superficial lateral e estabilizam bolhas formando uma camada rígida de proteínas interligadas à interface. Um sistema misto de surfactantes e proteínas pode ser instável à medida que o surfactante dilui a proteína e previne sua interligação, enquanto as proteínas interferem na rápida difusão superficial do emulsificante (GERMAN, 1990; HUGES, 1999; HUSBAND & WILDE, 1999; STAUFFER, 1999; WILDE & SARKER, 1999). Materiais lipídicos podem ter este efeito em espumas estabilizadas por proteínas.

3.1.5. Fatores que influenciam as características dos produtos aerados

O processamento de vários tipos de produtos de confeitaria aerados envolve a adição de um “frappé”, uma mistura batida de xarope de açúcar e agente aerante (LEES & JACKSON, 1973; MINIFIE, 1989). Os agentes aerantes normalmente utilizados para estes produtos são albumina do ovo, gelatina, leite desnatado, soro de leite, caseína e proteínas da soja (LEES & JACKSON, 1973).

Fatores como tipo e concentração de agente aerante, teor de sólidos e viscosidade da calda e condições de processamento, como temperatura, velocidade e tempo de batimento, afetam as características dos produtos aerados produzidos a partir de caldas de açúcares adicionadas de agentes aerantes e outros ingredientes (SONE, 1972).

Os diversos tipos de agentes aerantes apresentam propriedades de incorporação de ar e formação de espuma diferentes e, consequentemente, produzem diferentes volumes de espuma, com características físicas (como volume de ar incorporado, tamanho das bolhas de ar e firmeza) e estabilidade variáveis. GROSSO (1972) encontrou diferenças significativas na capacidade de incorporação de ar (“*overrun* máximo”) de diferentes agentes aerantes (albumina do ovo, derivado do leite, proteínas da soja e acetilmetilcelulose). A concentração do agente aerante também afeta o volume e as

características da espuma formada. De maneira geral, há uma relação direta entre o teor de agente aerante e o volume e a firmeza da espuma.

A viscosidade da calda de açúcares está relacionada ao seu teor de sólidos e temperatura e deve ser definida em função do nível de aeração desejado. Existe uma faixa de viscosidade ideal para o batimento da calda para que ocorra uma boa incorporação de ar ao produto. A concentração de sólidos e a temperatura, determinantes da viscosidade da calda, devem ser definidas de forma combinada. O aumento do teor de sólidos da calda requer o aumento da temperatura para que se obtenha uma viscosidade ideal de batimento. Temperaturas superiores a 80°C causam a hidrólise da gelatina, enquanto temperaturas iguais ou inferiores a 35-40°C promovem sua gelificação (TIEMSTRA, 1964a,b).

A velocidade e o tempo de batimento são também fatores importantes na produção de aerados, pois definem o volume final e a estabilidade do produto. O aumento da velocidade e do tempo de batimento favorecem a formação da espuma e sua firmeza. Porém, velocidades muito altas e/ou tempos de batimento muito prolongados podem resultar na quebra da espuma. Portanto, estes dois fatores devem ser determinados conjuntamente. O efeito do tempo de batimento na incorporação de ar a caldas de açúcares adicionadas de diferentes agentes aerantes foi estudado por GROSSO (1972). Os tempos de batimento variaram de 0 a 8 minutos. Observou-se que, para alguns agentes aerantes, como a albumina e a proteína da soja, diferentemente do observado para o derivado do leite e a acetilmetilcelulose, o *overrun* aumentou até um determinado tempo de batimento, além do qual ocorreu um decréscimo no *overrun*.

MAGALHÃES (1996), no desenvolvimento de produtos aerados tipo “marshmallow”, estudou a formação e a estabilidade de espumas obtidas a partir de uma calda de açúcares com 10% de gelatina de 250° Bloom, a 45°C, variando a velocidade e o tempo de batimento em batedeira planetária doméstica. Os resultados encontrados pela autora são apresentados na Tabela 4. Observou-se que caldas batidas a baixa rotação por 5, 10 e 15 minutos e média rotação por 5 minutos apresentaram fase líquida, indicando aeração incompleta. Caldas batidas em média rotação por 15 minutos e alta rotação por 5 e 10 minutos resultaram na aeração completa da fase líquida, formando uma espuma estável. A amostra batida em média rotação por 10 minutos formou uma

espuma pouco estável. A amostra submetida a um batimento a alta rotação por 15 minutos também apresentou uma fase líquida, provavelmente conseqüente do excesso de batimento. Segundo a autora, o excesso de energia mecânica fez com que o filme protéico que envolvia as bolhas de ar ficasse menos espesso, provocando seu rompimento e a coalescência das bolhas.

TABELA 4. Efeito da velocidade e do tempo de batimento na formação e estabilidade de espumas.

Tempo de batimento (minutos)	Velocidade de batimento (rotação)		
	baixa	média	alta
5	- Fase líquida não completamente aerada - Pouca espuma	- Fase líquida não completamente aerada - Espuma	- Espuma estável
10	- Fase líquida não completamente aerada - Pouca espuma	- Fase líquida quase completamente aerada - Espuma	- Espuma estável
15	- Fase líquida não completamente aerada - Espuma	- Espuma estável	- Espuma - Fase líquida não completamente aerada

Fonte: MAGALHÃES (1996)

3.2. Mousse

3.2.1 Definição de mousse

O Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa define mousse como uma “iguaria doce ou salgada, de consistência cremosa e leve, feita com um ingrediente básico (chocolate, frutas, queijo, camarão, etc.) a que se adicionam claras batidas e/ou gelatina, e servida fria” (FERREIRA, 1986).

Não existe uma definição técnica para mousse. Trata-se de um produto com estrutura de espuma estável, formada pela incorporação de bolhas de ar a uma massa, na presença de agentes aerantes e estabilizantes.

O produto estudado no presente trabalho é uma sobremesa láctea aerada, à base de leite condensado, suco de fruta integral, sacarose e agentes formadores de espuma/gelificantes.

3.2.2. Padrão de identidade e formulações de mousse

A mousse de maracujá é um produto que não possui padrão de identidade definido na legislação brasileira. Sendo uma sobremesa de consumo caseiro, também servido em docerias, padarias, lanchonetes e restaurantes, “receitas caseiras” muito variadas são usadas na sua elaboração, resultando em produtos com características organolépticas muito distintas. Estas receitas diferem quanto aos ingredientes e concentrações empregados, bem como no modo de preparo.

A textura característica do produto mousse é aerada. Algumas receitas caseiras, porém, usam como ingredientes básicos leite condensado, suco de maracujá reconstituído e creme de leite, sem qualquer agente aerante, o que resulta em um creme pesado. Outras usam mais de um agente aerante, como gelatina e claras em neve. AULER *et al.* (2000), em recente trabalho, apresentaram algumas formulações caseiras e comerciais de mousse de maracujá (Tabelas 5 e 6).

TABELA 5. Componentes e modo de preparo de formulações caseiras tradicionais de mousse de maracujá.

Formulações	Quantidade	Modo de Preparo
1. Leite condensado Creme de leite Suco de maracujá reconstituído	100 mL 100 mL 100 mL	1. Mistura dos ingredientes 2. Batimento por 1 min, em liquidificador, na velocidade 2 3. Acondicionamento
2. Leite condensado Creme de leite Suco de maracujá reconstituído Clara de ovo	100 mL 100 mL 100 mL 103 g	1. Batimento da clara de ovo por 10 min 2. Mistura dos demais ingredientes e batimento por 1 min, em liquidificador, na velocidade 2 3. Mistura das claras com os demais ingredientes batidos 4. Acondicionamento

Fonte: AULER *et al.*, 2000.

TABELA 6. Componentes e modo de preparo de formulações comerciais em pó de mousse de maracujá.

Marcas	Componentes	Modo de preparo
1	Carragena, monoglicerídio, diglicerídio, proteína láctea, ácido cítrico, aroma natural de maracujá, amarelo tartrazina e amarelo crepúsculo	1. Mistura dos ingredientes 2. Batimento por 1 min, em liquidificador, na velocidade 2 3. Acondicionamento
2	Açúcar, gordura vegetal, gelatina, amido modificado, ácido fumárico, amarelo tartrazina, amarelo crepúsculo	1. Mistura dos ingredientes 2. Batimento por 1 min, em liquidificador, na velocidade 2 3. Acondicionamento

Fonte: AULER *et al.*, 2000.

3.2.3. Ingredientes e aditivos em formulações de mousse

Confeitos e sobremesas, de maneira geral, são convencionalmente formulados com diversos aditivos, como corantes, aromatizantes, acidulantes, espessantes, estabilizantes e conservantes. O uso de aditivos químicos geralmente representa redução de custos e garantia de estabilidade física e microbiológica ao alimento. O emprego de aditivos altera as propriedades organolépticas e prolonga a vida-de-prateleira do alimento. Além disto, os aditivos são produtos de uso prático e fácil conservação. Embora, sob o ponto de vista tecnológico, sejam inegáveis os benefícios do uso de aditivos alimentícios, existe hoje uma preocupação crescente quanto aos riscos toxicológicos potenciais decorrentes da ingestão diária destas substâncias químicas. É tendência mundial o aumento do consumo de produtos com apelo “natural”, formulados com o menor número possível de componentes artificiais. Na mousse de maracujá o uso de suco natural tem este propósito.

Formulações comerciais de mousse de maracujá, apresentados na forma de pó para preparo doméstico, incluem vários aditivos (Tabela 6). A título de exemplo, são apresentadas na Tabela 7. duas formulações comerciais de mousse de maracujá pronto para consumo.

Se comparadas as formulações apresentadas nas Tabelas 5, 6 e 7, observa-se que as formulações de mousse de maracujá “caseiras” e comerciais têm em comum um componente lácteo (leite condensado ou leite em pó), suco de maracujá ou aromatizante

(suco de maracujá reconstituído, preparado de polpa de maracujá, concentrado de maracujá ou aroma natural de maracujá), açúcar (inclusive o presente no leite condensado), um componente lipídico (creme de leite, gordura vegetal hidrogenada ou monoglicerídeos e diglicerídeos) e um componente funcional protéico (clara de ovo, gelatina, proteína láctea ou concentrado protéico de soro). As formulações comerciais podem incluir ainda espessantes (amido, carragena ou goma guar), acidulantes (ácido cítrico ou ácido fumárico), corantes (corante natural de urucum, Amarelo Tartrazina, Amarelo Crepúsculo ou Amarelo "O") e conservantes (ácido sórbico).

TABELA 7. Componentes de formulações comerciais de mousse de maracujá pronto para consumo.

Marcas	Componentes
1	Leite em pó, gordura vegetal hidrogenada, açúcar, concentrado de maracujá, estabilizante (Gerbagel), acidulante (ácido cítrico 20%), corante (Amarelo "O" Mistura).
2	logurte, preparado de polpa de fruta (suco de maracujá, açúcar, aromatizante, espessante goma guar, acidulante ácido cítrico, conservador ácido sórbico e corante natural urucum), açúcar, concentrado protéico de soro, gelatina e espessante goma guar.

O ingrediente lácteo, além de conferir características de aroma, sabor e textura ("corpo") típicas do produto mousse, possui componentes como açúcares, gordura e proteínas que influenciam a estabilidade deste complexo sistema. O açúcar, além de adoçante, contribui para o teor de sólidos totais do produto, também relacionado à sua estabilidade. O componente lipídico e o protéico têm função de agentes formadores e estabilizantes de emulsão, espuma e gel. Combinados, porém, podem ter sua funcionalidade comprometida.

Os espessantes contribuem para a estabilidade física do produto. Os acidulantes, além de conferirem sabor, são responsáveis pela estabilidade microbiológica, assim como os conservantes. Os corantes têm unicamente a função de melhorar a aparência do produto.

Os corantes artificiais, dentre os aditivos alimentícios, têm sido objeto de muitas críticas, pelo fato do seu emprego ser desnecessário em muitos alimentos, justificando-se seu uso apenas por questões de hábito alimentar. Em geral, o emprego de corantes em alimentos baseia-se na importância da aparência de um produto para a sua aceitabilidade (SZTAJN, 1988).

No produto mousse, o suco de maracujá é responsável pela cor, aroma e sabor, particularmente a acidez, característicos desta sobremesa. O suco de maracujá natural, comparado aos concentrados e aos aromas artificiais, apresenta características de aroma e sabor muito distintas, sendo mais completo no que se refere a compostos aromáticos, especialmente os voláteis.

3.2.4. Fatores que interferem na textura e estabilidade da mousse

A mousse é um produto que apresenta uma estrutura complexa, que envolve a formação de uma espuma, estabilizada por um polímero com atividade de superfície e propriedade gelificante. Fatores como pH, acidez e concentração de sólidos do meio, dependentes das características composicionais dos ingredientes e da formulação do produto, interferem na atividade do agente aerante/estabilizante.

A composição do suco de maracujá, que pode corresponder a até 50% (para suco integral, com 11° Brix) dos ingredientes da formulação, em relação à massa total do produto, determina as características de cor, aroma e sabor e interfere, indiretamente, na textura da mousse. O baixo pH e a elevada acidez do suco de maracujá, embora “diluídos” quando este é somado aos outros ingredientes, têm um forte efeito na atividade do agente aerante/gelificante.

O teor de sólidos totais, resultante da formulação, que inclui, além do suco de maracujá, ingredientes como sacarose e leite em pó ou leite condensado, é relativamente alto para este tipo de produto e também interfere nas propriedades funcionais do polímero.

Aspectos relacionados à natureza química, como, por exemplo, o ponto isoelétrico, no caso das proteínas, e a concentração do polímero empregado vão determinar seu comportamento e a capacidade de formar espumas estáveis nestas condições de pH e concentração de sólidos.

Além dos fatores composicionais, outros como a ordem de mistura, tipo de equipamento, velocidade e tempo de batimento dos ingredientes e a temperatura de processamento e armazenamento afetam a textura e a estabilidade física da mousse.

3.3. Funcionalidade protéica

O termo funcionalidade, quando aplicado a ingredientes alimentícios, é definido como qualquer propriedade, exceto as nutricionais, que influencia seu uso em um alimento (KINSELLA & SOUCIE, 1989). As propriedades funcionais afetam as características sensoriais do alimento (especialmente seus atributos de textura) e, em alguns casos, o comportamento físico do alimento ou ingrediente durante sua preparação, processamento ou armazenamento (FENNEMA, 1985).

As propriedades funcionais das proteínas são aquelas propriedades físico-químicas que as tornam capazes de contribuir com características desejáveis aos alimentos e envolvem sua capacidade de interagir com a água (solubilidade, “molhabilidade”, capacidade de retenção de água) e com outras moléculas de proteína (gelificação, formação de filme) e de formar um filme bipolar na interface ar/água (espuma) ou óleo/água (emulsão) (MORR, 1993).

A aeração, em produtos como a mousse, é uma característica conseqüente das propriedades funcionais de um ou mais ingredientes da sua formulação. Este tipo de produto pode ser preparado a partir de um xarope de açúcares adicionado de um agente aerante, submetido a um tratamento térmico seguido por um tratamento mecânico (batimento), produzindo uma espuma, posteriormente adicionada aos demais ingredientes, estes misturados e o produto final acondicionado e armazenado. Nas diferentes etapas de preparação e processamento deste produto, várias propriedades funcionais de proteínas estão envolvidas. São dependentes do tipo e concentração de

proteínas no sistema as seguintes propriedades funcionais: a. a viscosidade do xarope de açúcares adicionado de agentes aerantes; b. a capacidade de incorporação de ar e formação de espumas deste xarope durante o batimento; c. a capacidade de formação de gel do produto final, sob refrigeração.

A complexidade dos sistemas alimentícios não permite uma compreensão clara de como uma dada estrutura protéica determina, por exemplo, a textura final de um alimento. Isto se deve, em parte, ao fato de que a estrutura original da proteína é normalmente modificada quando o ingrediente ou alimento protéico é processado a um alimento complexo. Uma vez que a predição das propriedades funcionais de uma proteína, com base em suas características estruturais, é difícil, esta proteína precisa ser avaliada experimentalmente no sistema no qual pretende-se que desempenhe alguma função. Os testes de avaliação de propriedades funcionais de proteínas compreendem medidas precisas de propriedades físico-químicas bem definidas, testes em sistemas modelo e testes de uso.

A funcionalidade de um componente protéico pode ser melhor compreendida quando se trata de uma proteína purificada, de estrutura nativa conhecida, testada em um sistema modelo. Porém, a maior parte dos ingredientes protéicos disponíveis para uso industrial são misturas de proteínas e contêm quantidades consideráveis de carboidratos, lipídios, sais minerais, polifenóis e outros constituintes não-protéicos. Embora os isolados protéicos contenham menor concentração destes constituintes, o processamento ao qual foram submetidos para alcançar este grau de pureza podem ter provocado alterações em sua estrutura e funcionalidade (FENNEMA, 1985).

Os testes em sistemas modelo são menos dispendiosos que os utilitários, embora muitos destes testes não sejam padronizados e apresentem pouca correlação com os sistemas reais (FENNEMA, 1985). De modo geral, as proteínas são primeiramente avaliadas em um sistema modelo, no qual estão presentes menos variáveis interferentes, e, posteriormente, em um sistema utilitário de composição semelhante ou igual à do alimento ao qual a proteína será adicionada (AULER *et al.*, 2000).

3.4. Viscosidade

A viscosidade de um fluido reflete sua resistência ao fluxo. É expressa como o coeficiente de viscosidade μ , que é a razão entre a “tensão de cisalhamento” τ e a “taxa de cisalhamento” γ (ou grau de fluxo):

$$\tau = \mu \gamma$$

Fluidos Newtonianos têm um coeficiente de viscosidade constante, independente da tensão de cisalhamento ou do grau de fluxo. Soluções, dispersões, emulsões, pastas ou géis de macromoléculas hidrofílicas, incluindo proteínas, em geral não se comportam como fluidos Newtonianos, uma vez que seu coeficiente de viscosidade decresce com o aumento do grau de fluxo. Este comportamento é chamado pseudoplástico, e expresso como:

$$\tau = m \gamma^n$$

onde m é o coeficiente de consistência e n é o índice de comportamento de fluxo.

O principal fator isolado influenciando o comportamento de viscosidade de fluidos protéicos é o diâmetro aparente das moléculas ou partículas dispersas. Este diâmetro depende dos seguintes parâmetros: a. características intrínsecas da molécula protéica, como massa molar, tamanho, volume, estrutura e assimetria, cargas elétricas e facilidade de deformação (fatores ambientais como pH, força iônica e temperatura podem modificar estas características, por desnaturação); b. interações proteína-solvente, que influenciam a solubilidade e a esfera de hidratação hidrodinâmica ao redor da molécula; e c. interações proteína-proteína, que determinam o tamanho dos agregados (FENNEMA, 1985).

O comportamento pseudoplástico pode ser explicado pelos seguintes fenômenos: a. orientação progressiva das moléculas na direção do fluxo, de forma que a resistência friccional é reduzida; b. deformação da esfera de hidratação da proteína na direção do fluxo (se a proteína é altamente hidratada e dispersa); e c. ruptura de ligações de hidrogênio e outras ligações fracas, resultando na dissociação de agregados protéicos ou redes. Em todos os casos, o diâmetro aparente das moléculas ou partículas na direção do fluxo é reduzido (TUNG, 1978).

A ruptura de ligações fracas pode ocorrer lentamente, de forma que a viscosidade aparente diminui com o tempo (a um grau de cisalhamento e uma temperatura constantes), até ser atingido um equilíbrio. Quando o tratamento de cisalhamento é interrompido, os agregados originais podem ou não ser novamente formados. Se o forem, a diminuição do coeficiente de viscosidade é reversível, e o sistema é tixotrópico. Dispersões de concentrados protéicos de soro e isolados protéicos de soja, por exemplo, apresentam comportamento tixotrópico.

Quando a viscosidade aparente de um fluido aumenta em função do aumento do grau de cisalhamento, este apresenta um comportamento dilatante (BOURNE, 1982).

O coeficiente de viscosidade de alguns fluidos protéicos aumenta exponencialmente com a concentração de proteína, devido a interações proteína-proteína. Quando estas interações são suficientemente numerosas, como em pastas ou géis protéicos, observa-se um comportamento viscoelástico plástico.

Proteínas desidratadas, desnaturadas termicamente e insolúveis não desenvolvem alta viscosidade quando em meio aquoso. Proteínas desidratadas altamente solúveis, com baixa capacidade de absorção de água (como as proteínas do soro de leite) também exibem baixa viscosidade a pH neutro ou isoeletrico. Proteínas desidratadas solúveis, com alta capacidade de absorção de água (como o caseinato de sódio e alguns tipos de proteínas da soja) desenvolvem alta viscosidade.

3.4.1. Viscosidade aparente do xarope de açúcares

Além do tipo e concentração de proteínas (agentes aerantes), a viscosidade do xarope de açúcares também é influenciada pelo tipo e concentração de açúcares, pela temperatura e pela presença e concentração de ácidos. O aumento da concentração de sólidos aumenta a viscosidade da calda a uma determinada temperatura. O aumento da temperatura resulta na diminuição da viscosidade (TIEMSTRA, 1964 a,b). A presença de ácidos também pode provocar uma diminuição de viscosidade (JOHNSTON, 1990).

Xaropes de baixa viscosidade apresentam maior capacidade de incorporação de ar e resultam em produtos com boas características de textura (TIEMSTRA, 1964a,b).

Soluções de açúcares com gelatina, a uma concentração de 6,67% desta proteína, podem apresentar coeficientes de viscosidade entre 1,5 e 7,5 cPs, a 60°C.

3.5. Espuma

3.5.1. Definição de espuma

Espuma é um sistema de duas fases constituído de bolhas de gás envolvidas por uma fase lamelar líquida contínua. Devido à sua grande área interfacial gás-líquido, uma espuma requer energia para ser produzida e é fundamentalmente instável. A estabilidade de uma espuma depende das propriedades mecânicas da lamela (BIKERMAN, 1973; HALLING, 1981; BRITTEN & LAVOIE, 1992; STANLEY *et al.*, 1996).

Segundo ANDERSON & BROOKER (1988), considera-se como espuma láctea uma estrutura na qual a fase gasosa é estabilizada por uma matriz onde uma proporção significativa dos componentes é originária do leite. Tais espumas incluem um grande número de produtos alimentícios, como coberturas, mousses e sorvetes.

3.5.2. Formação e quebra da espuma

Existe uma grande variedade de produtos alimentícios, de texturas muito variadas, que são estruturalmente espumas. Em muitos produtos o gás é o ar, ocasionalmente dióxido de carbono, e a fase contínua é uma solução aquosa ou uma suspensão contendo proteínas. Algumas espumas alimentícias são sistemas coloidais muito complexos. Um sorvete, por exemplo, contém uma solução concentrada de açúcares e proteínas, uma suspensão de cristais de gelo, uma emulsão (ou suspensão) de glóbulos de gordura dispersos ou agrupados (principalmente sólidos), um gel polissacarídico e bolhas de ar.

Nas espumas, uma fase líquida contínua separa as bolhas de gás. A interface gás/líquido requer energia mecânica para ser formada. A manutenção desta interface contra a coalescência das bolhas de gás normalmente é garantida pela presença de agentes superfície-ativos. Estes agentes diminuem a tensão interfacial e formam uma barreira protetora elástica entre as bolhas de gás (quando o gás é o ar, a tensão interfacial corresponde à tensão superficial da fase líquida). Algumas proteínas são capazes de formar um filme protetor adsorvendo-se à interface gás/líquido. Neste caso, a lamela entre duas bolhas adjacentes consiste de dois filmes protéicos adsorvidos, separados por uma camada líquida delgada. Além das proteínas, carboidratos e lipídios também podem funcionar como estabilizantes de espumas em alguns sistemas (STAINBY, 1986).

O tamanho das bolhas de ar de uma espuma é muito variável, podendo apresentar diâmetros de 1µm a vários centímetros, dependendo de fatores como a tensão superficial e a viscosidade da fase líquida e o "input" de energia. No decorrer do batimento da fase líquida, para a formação da espuma, o diâmetro das bolhas de ar diminui, com o conseqüente aumento da área superficial da interface (GROSSO, 1972). Bolhas de ar menores são mais estáveis por apresentarem conformação quase esférica e possuírem paredes mais espessas (TIEMSTRA, 1964; BIKERMAN, 1973). Uma distribuição uniforme de bolhas pequenas normalmente confere corpo, maciez e leveza ao alimento.

Existem, basicamente, três métodos de formação de espuma em alimentos. O primeiro consiste na injeção de gás em uma solução aquosa de baixa concentração de proteína (0,01-2,00% p/v). Por este processo, o líquido pode ser completamente convertido em espuma, se for introduzida uma quantidade suficiente de gás. Podem ser obtidos volumes grandes de espuma, mesmo partindo-se de soluções protéicas diluídas.

Outro método de formação de espuma consiste na liberação súbita de uma solução pressurizada contida.

Pelo terceiro método, a formação de espumas ocorre com o batimento de uma solução protéica aquosa, na presença de uma fase gasosa. O batimento é o meio mais usado para a introdução de gás em produtos aerados. Comparado com a injeção de gás, o batimento provoca um "stress mecânico" e uma ação de cisalhamento mais severos,

promovendo uma dispersão mais uniforme do gás. Este “stress mecânico” severo afeta a formação e a coalescência das bolhas de gás e desfavorece a adsorção da proteína à interface gás/líquido, aumentando o requerimento de proteína no sistema (1-40% p/v). Durante o batimento, o volume de ar incorporado atinge um grau máximo, e o aumento do volume da amostra pode variar de 300 a 2000% (FENNEMA, 1985).

Devido ao fato de muitas espumas terem áreas interfaciais muito grandes, elas são frequentemente instáveis. A desestabilização de uma espuma pode se dar por três mecanismos principais:

- a. Drenagem da lamela líquida devido à gravidade, diferenças de pressão e/ou evaporação (FENNEMA, 1985). Sob a ação da força gravitacional ocorre o fluxo de líquidos pelo filme que envolve as bolhas de ar. Como consequência, o filme fica menos espesso na parte superior e mais espesso na parte inferior. A transferência de líquidos da parte central para a região lamelar da bolha deve-se à diferença de pressão nestas regiões. Dependendo do equilíbrio entre estas forças, o filme pode tornar-se cada vez mais fino até romper-se ou atingir uma espessura de equilíbrio (SHAW, 1975). O tamanho das bolhas não se altera durante a drenagem, porém a sua forma varia (LEES, 1991).

A drenagem ocorre durante e após a formação da espuma, sendo maior quanto mais volumosa a fase dispersa. Em espumas de baixa densidade, as bolhas tendem a estar muito próximas umas das outras, o que aumenta a drenagem do líquido da lamela. Em sistemas com bolhas de diâmetro grande e baixa tensão interfacial, a pressão interna e a drenagem são menores. A drenagem é menor quando a fase líquida e o filme protéico adsorvido apresentam alta viscosidade. A viscosidade superficial depende da força das interações proteína-proteína e proteína-água no sistema.

- b. Difusão de gás de bolhas pequenas para grandes. Este fenômeno decorre da solubilidade do gás na fase aquosa.
- c. Ruptura da lamela líquida que separa as bolhas de gás. Esta ruptura resulta em um aumento do tamanho das bolhas por coalescência e leva a um colapso da espuma (FENNEMA, 1985; LEES, 1991). Há uma interdependência entre drenagem e ruptura, uma vez que a drenagem reduz a espessura e a força da lamela e a ruptura aumenta a drenagem. Se dois filmes protéicos da lamela aproximam-se a uma distância de cerca de 50-150 Å, devido à drenagem ou a colisões, ocorre a ruptura. Não se sabe

se repulsões eletrostáticas e/ou atrações moleculares entre os dois filmes protéicos interferem nestas distâncias. Filmes protéicos espessos e elásticos resistem à ruptura.

Os três principais fatores que determinam a estabilidade de uma espuma são baixa tensão interfacial, alta viscosidade da fase líquida e filmes protéicos adsorvidos fortes e elásticos (FENNEMA, 1985).

Em produtos aerados, a estabilidade da espuma pode ser comprometida por falhas decorrentes do uso de algum ingrediente não compatível na formulação ou do processamento.

O uso de açúcares de alta viscosidade e a escolha de agentes aerantes e condições de incorporação de gás adequados podem prevenir a desestabilização da espuma (LEES, 1991).

3.5.3. Medidas das propriedades de formação e estabilização de espumas

Existem vários métodos para a avaliação das propriedades de formação e estabilidade de espumas protéicas.

Várias expressões podem ser usadas para descrever a capacidade de formação de espuma de um sistema, como a. "volume da espuma em estado fixo" ($100 \times \text{volume da espuma} / \text{volume da fase líquida inicial}$); b. *overrun* [geralmente definido como $100 \times (\text{volume total da dispersão} - \text{volume do fluido original}) / \text{volume do fluido original}$]; c. "poder espumante" ($100 \times \text{volume de gás na espuma} / \text{volume de líquido na espuma}$); d. "gás na razão espuma/gás injetado"; ou e. "densidade da espuma" (massa de um volume específico de espuma, a uma determinada temperatura).

Além destes parâmetros, pode-se determinar o tamanho médio das bolhas de gás, o que permite uma estimativa grosseira da área interfacial total do sistema. O tempo necessário para se atingir um dado volume de espuma também pode ser uma medida interessante (FENNEMA, 1985).

O “poder espumante” geralmente aumenta com a concentração de proteína na fase líquida até um determinado valor máximo. A capacidade de formar espuma de diferentes proteínas pode ser comparada medindo-se o “poder espumante” máximo e determinando-se a concentração de proteína correspondente à metade do “poder espumante” máximo (Tabela 8.). Os valores da Tabela 8. ilustram o elevado “poder espumante” da gelatina a baixas concentrações.

TABELA 8. Capacidade de formação de espuma de soluções protéicas (pH 7, por batimento)

Proteína	PE máximo (a 2-3% de proteína, p/v)	[P] ^a (p/v) (a ½ do PE máximo)	PE ^b (a 1% de proteína, p/v)
Gelatina	228	0,04%	221
Caseinato de sódio	213	0,10%	198
Isolado protéico de soja	203	0,29%	154

^a [P] = concentração de proteína

^b PE = poder espumante, definido como 100 x volume de gás na espuma / volume de líquido na espuma.

Fonte: KITABATAKE & DOI, 1982.

A estabilidade da espuma pode ser obtida medindo-se: a. o grau de drenagem do líquido ou colapso da espuma (redução de volume) num dado tempo; b. o tempo para a drenagem total ou da metade do volume da espuma; ou c. o tempo decorrido antes do início da drenagem.

A “força da espuma” pode ser obtida pela medida da capacidade de uma coluna de espuma suportar um peso específico ou pela determinação da viscosidade da espuma (FENNEMA, 1985).

A performance das amostras de proteína nestes vários testes é dependente do equipamento usado e das condições de teste. Para comparações entre proteínas, deve-se usar procedimentos padronizados, incluindo uma proteína padrão.

3.5.4. Propriedades específicas das proteínas de formação e estabilização de espumas

Evidências experimentais indicam que a formação e a estabilização de espumas requerem das proteínas propriedades diferentes, relacionadas à sua estrutura e polaridade.

A formação de uma espuma envolve a difusão de proteínas solúveis pela interface ar/água, onde estas proteínas desdóbram-se, concentram-se e espalham-se rapidamente, diminuindo a tensão superficial. Moléculas flexíveis, com poucas estruturas secundárias e terciárias (como, por exemplo, a β -caseína), funcionam eficientemente como surfactantes. A aplicação de tratamentos térmicos a proteínas globulares, de estrutura complexa, promove o desdobramento da molécula e melhora sua orientação na interface ar/água, o que resulta no aumento da capacidade de formação de espuma. A exposição a agentes desnaturantes ou a proteólise parcial destas estruturas globulares, antes do tratamento térmico, pode favorecer o desdobramento da molécula e suas propriedades de superfície, desde que este desdobramento não seja seguido por agregação e perda de solubilidade.

Existe uma correlação direta entre a hidrofobicidade superficial de uma proteína e sua capacidade de diminuir tensões superficiais e interfaciais. Derivados protéicos hidrofóbicos apresentam maior capacidade espumante devido à sua melhor orientação e espalhamento na interface ar/água.

A função estabilizante de espuma requer de uma proteína propriedades diferentes das necessárias para a formação de uma espuma. A estabilidade de uma espuma é garantida pela presença de um filme protéico contínuo, espesso, coesivo, elástico e impermeável (a gases) ao redor das bolhas de ar. Proteínas globulares de alto peso molecular, capazes de resistir parcialmente ao desdobramento, produzem filmes adsorvidos espessos, com boas propriedades reológicas superficiais e espumas muito estáveis. Estes filmes são formados por várias camadas de proteína parcialmente desdobrada associadas à interface através de interações hidrofóbicas e, possivelmente, de hidrogênio e eletrostáticas. A proteína precisa estar fortemente adsorvida à interface ar/água, por interações hidrofóbicas, para evitar a perda de líquido por drenagem.

Aparentemente, existe um balanço crítico entre a capacidade da proteína de realizar interações intermoleculares, com a formação de filmes estáveis, e a tendência excessiva da proteína de se auto-associar, resultando em agregações protéicas e na ruptura da lamela. Além disto, as moléculas de proteína devem apresentar suficiente flexibilidade e mobilidade para compensar o “stress de deformação”, a extensão da interface e a diminuição da espessura da lamela. Qualquer extensão da interface resulta na diminuição da concentração de moléculas adsorvidas à interface e no aumento da tensão interfacial. Para garantirem uma estabilidade efetiva, as proteínas devem ser capazes de se mover de uma região de baixa tensão interfacial para uma de alta tensão, arrastando consigo moléculas de água subjacentes, assim restaurando a espessura inicial da lamela. Finalmente, também é desejável que as cadeias laterais polares (polipeptídicas) do filme protéico interajam com a água da lamela, reduzindo a drenagem (FENNEMA, 1985).

São exemplos de proteínas com boas propriedades espumantes a albumina do soro bovino, a clara do ovo, a gelatina, as proteínas do soro de leite, micelas de caseína, β -caseína, proteínas do trigo (especialmente as gluteninas), proteínas da soja e alguns hidrolisados protéicos (com um baixo grau de hidrólise).

As diferentes propriedades físico-químicas dos vários componentes protéicos da clara do ovo parecem se completar, promovendo uma rápida formação de espumas de baixa densidade, estáveis e resistentes ao calor. A β -caseína, de estrutura desordenada, tem a capacidade de diminuir rapidamente a tensão superficial e interfacial e promover uma rápida formação de espuma. Os filmes protéicos adsorvidos, porém, são delgados e a estabilidade da espuma é baixa. A κ -caseína desdobra-se lentamente durante a formação da espuma, provavelmente devido ao fato de sua estrutura ser estabilizada por ligações dissulfídicas intramoleculares, e espalha-se menos à interface que a β -caseína. Consequentemente, a formação de espuma não é rápida, mas os filmes protéicos resultantes são espessos e fortes e a espuma formada é muito estável. A estrutura globular altamente ordenada da soroalbumina é flexível o bastante para permitir um desdobramento parcial e adsorção à interface da espuma, e a estrutura residual da molécula adsorvida garante uma boa estabilidade à espuma.

3.5.5. Fatores que influenciam a formação e a estabilização de espumas

Vários fatores afetam a formação de uma espuma, dentre eles o pH, a presença de sais, açúcares e lipídios, a concentração de proteína e o "input" de energia no sistema (TIEMSTRA, 1964a; FENNEMA, 1985).

A solubilidade de uma proteína é tida como pré-requisito à capacidade de formação e estabilização de espumas, embora partículas protéicas insolúveis (como algumas proteínas em seu ponto isoelétrico) possam desempenhar um papel estabilizante, provavelmente pelo aumento da viscosidade superficial. Apesar do *overrun* da espuma, em geral, não ser alto no ponto isoelétrico da proteína, a estabilidade da espuma é muito boa. Este é o caso das proteínas do soro de leite, e pode ser explicado pelo fato de que as atrações intermoleculares eletrostáticas no pH do ponto isoelétrico aumentam a espessura e rigidez do filme protéico adsorvido à interface ar/água. Para algumas proteínas, porém, observa-se um aumento na estabilidade da espuma a pHs extremos, possivelmente também devido ao aumento da viscosidade. Proteínas da clara do ovo apresentam performances de formação de espuma máximas no seu pH "natural" (pH 8-9) e próximo do ponto isoelétrico (pH 4-5). A maioria das espumas alimentícias é preparada a pHs diferentes dos do ponto isoelétrico dos seus constituintes protéicos.

A presença de sais também pode afetar o desdobramento e a agregação, a solubilidade e a viscosidade das proteínas, o que pode alterar suas propriedades espumantes. O cloreto de sódio em geral aumenta o *overrun* e reduz a estabilidade da espuma, provavelmente devido ao decréscimo da viscosidade da solução protéica. Íons cálcio podem melhorar a estabilidade da espuma através da formação de ligações com grupos carboxila da proteína.

A sacarose e outros açúcares geralmente diminuem a expansão da espuma, mas melhoram sua estabilidade, por aumentar a viscosidade da solução. As glicoproteínas da clara do ovo (ovomucóide e ovoalbumina) contribuem para a estabilização da espuma por adsorverem e reterem água na lamela.

Baixas concentrações de lipídios (< 0,1%) comprometem seriamente a capacidade de formação de espumas protéicas. Assim, preparados protéicos de soja livres de fosfatídios e proteínas da clara do ovo livres de lipídios da gema apresentam melhor propriedade espumante. Lipídios polares, superfície-ativos, interferem na conformação mais desejável assumida pelos filmes protéicos adsorvidos por se alojarem na interface ar/água (FENNEMA, 1985).

A estabilidade da espuma aumenta, mais que seu volume, com o aumento da concentração de proteína na fase líquida (até acima de 10%). O *overrun* máximo é, geralmente, obtido a concentrações de proteína entre 2 e 8% p/v (pelo método do batimento). Esta condição aparentemente proporciona uma viscosidade da fase líquida e uma espessura do filme adsorvido adequadas. O aumento da concentração de proteína leva à formação de bolhas menores e espumas mais firmes. A manutenção das soluções de proteína “em repouso” por determinado período de tempo, antes da formação da espuma, pode proporcionar maior estabilidade à espuma, provavelmente devido ao aumento das interações proteína-proteína e ao consequente espessamento dos filmes adsorvidos (HALLING, 1981; FENNEMA, 1985).

Para a formação de uma espuma, a intensidade e o tempo de agitação devem ser tais que promovam desdobramentos protéicos e adsorções adequadas. Uma agitação excessivamente intensa pode levar à diminuição do *overrun* e da estabilidade da espuma. O batimento da clara do ovo por mais de 6-8 minutos, por exemplo, causa uma agregação-coagulação parcial das proteínas na interface ar/água. Estas proteínas insolubilizadas não se adsorvem bem à interface, fazendo com que a viscosidade da lamela líquida seja insuficiente para uma boa estabilidade.

Tratamentos térmicos moderados, aplicados antes da formação da espuma, podem melhorar as propriedades espumantes de proteínas como as da clara do ovo, do soro do leite (40-60°C) e da soja (70-80°C). Em geral, estes tratamentos térmicos aumentam o *overrun*, mas diminuem a estabilidade da espuma. Tratamentos térmicos mais severos que os mencionados podem comprometer a capacidade de formação de espuma (FENNEMA, 1985).

3.5.6. Densidade da espuma

A densidade de uma espuma corresponde à razão entre sua massa e volume, a uma determinada temperatura.

Quanto maior a quantidade de ar incorporado, menor a densidade da espuma (GROVES, 1995). A incorporação de ar à espuma depende de fatores como tipo e concentração de agentes aerantes e açúcares, teor de sólidos e viscosidade do xarope, tipo de equipamento, temperatura, velocidade e tempo de batimento (TIEMSTRA, 1964a,b; LEES, 1991a). Com o decorrer do tempo de batimento do xarope, a densidade aparente da espuma diminui e a viscosidade aumenta (GROSSO, 1972).

O fim do processo de batimento é indicado pela densidade final da espuma. O controle industrial da densidade é normalmente feito através da pesagem da espuma em um recipiente de volume conhecido. Trata-se de uma medida simples, rápida e relativamente precisa (TIEMSTRA, 1964; GROVES, 1995).

3.6. Agentes aerantes

Um bom agente formador e estabilizante de espuma deve apresentar a capacidade de se ligar rapidamente à interface gás/água durante a agitação mecânica (ou a injeção de gás), arranjar-se e re-arranjar-se rapidamente na interface e formar um filme viscoelástico coeso (RUPNOW, 1991; DAMODARAN, 1994). Este filme deve ser forte e elástico o bastante para reter umidade, resistir a alterações do meio e a choques mecânicos durante e após a formação da espuma (PHILLIPS *et al.*, 1987; GROVES, 1995).

Segundo GROVES (1995), o agente aerante, além de contribuir para a rápida formação de bolhas de ar, deve ser capaz de controlar seu tamanho e evitar sua coalescência ou dissipação.

As macromoléculas mais usadas como agentes aerantes são as proteínas e os polissacarídeos, que devem estar presentes em níveis relativamente baixos na

formulação. Em alguns sistemas os lipídios também podem desempenhar esta função (STAINBY, 1986).

Embora os polissacarídeos possam contribuir para a estabilidade de uma espuma, estes componentes são menos flexíveis, devido às ligações glicosídicas entre monômeros, e apresentam menor atividade superficial que as proteínas. Já as moléculas de proteína são estruturas flexíveis e, apesar de extensas, somente uma pequena parte da sua estrutura entra em contato com a interface para que ocorra a adsorção (STAINBY, 1986).

As propriedades de superfície das proteínas as tornam capazes de formar espumas (NAKAI, 1983). A formação de uma espuma se dá através da rápida adsorção das proteínas ao redor de bolhas de ar incorporadas a uma fase líquida, promovendo a formação de um filme estabilizante, que determina a resistência das bolhas de ar ao colapso e à coalescência (GERMAN *et al.*, 1985; BRITTEN & LAVOIE, 1992). Segundo MANSVELT (1972), as moléculas de proteína, inicialmente sem orientação, no decorrer do batimento formam uma camada superficial na interface ar/líquido, ao mesmo tempo em que tendem a alinhar-se paralelamente umas às outras (devido à força de ligações intermoleculares), o que proporciona grande estabilidade à estrutura formada. O emprego de proteínas como agentes aerantes confere textura particular e estabilidade física a diferentes sistemas alimentícios (BRITTEN & LAVOIE, 1992). Produtos aerados como mousses, sorvetes e “marshmallows” são exemplos de sistemas coloidais estabilizados por filmes protéicos (STAINBY, 1986).

As proteínas da clara do ovo apresentam excelentes propriedades de formação e estabilização de espumas (DE VILBISS *et al.*, 1974). Diversos produtos, como recheios, coberturas, mousses, merengues e bolos tipo “papo de anjo”, utilizam clara de ovo como agente aerante (MENZI & DOVE, 1981; STADELMAN, 1999). Outras proteínas, como as do soro do leite bovino, também possuem a capacidade de formar espumas estáveis, sendo indicadas como substituto da clara de ovo em muitas aplicações (U. S. DAIRY EXPORT COUNCIL, 1997).

Ao se escolher o agente aerante para um determinado produto deve-se considerar a quantidade a ser utilizada deste ingrediente e a textura que este confere ao produto final.

A Tabela 9. apresenta alguns agentes aerantes de uso comum em produtos aerados, sua porcentagem de uso e as características de textura conferidas nas concentrações especificadas.

TABELA 9. Concentrações de diferentes agentes aerantes e respectivas texturas conferidas.

Agente Aerante	Concentração (%)	Textura
Agar	1,0-2,0	leve
Albumina do ovo	1,0-1,5	leve
Alginatos	0,5-1,0	dura
Amido modificado	7,0-11,0	elástica
Gelatina	2,0-5,0	elástica
Goma arábica	20,0-30,0	dura
Lactoalbumina	1,0-1,5	leve
Proteínas da soja	1,0-1,5	leve

Fonte: GROVES, 1995.

Para produtos tipo mousse, os agentes aerantes mais utilizados são a gelatina, a albumina do ovo e a combinação de ambos (POPPE, 1995). A gelatina, além de promover boa aeração, conferindo ao produto uma textura leve, é também agente gelificante, formador de filme e estabilizante (GARCIA, 1995).

3.7. Gelatinização

3.7.1. Aspectos gerais da gelatinização protéica

Gelatinização ou gelificação é o processo de agregação de moléculas protéicas desnaturadas, formando uma estrutura ordenada de rede.

A gelatinização protéica é o processo responsável pela formação de géis viscoelásticos sólidos em muitos alimentos, incluindo vários produtos lácteos, carnes e de pescado, géis de gelatina, géis de proteínas da soja, proteínas vegetais texturizadas por extrusão e massas de pão. Além da formação de géis sólidos, a gelatinização é também utilizada para melhorar a absorção de água, para promover a adesão de partículas, como espessante e estabilizante de emulsões e espumas.

Em geral, é necessário um tratamento térmico para que ocorra a gelatinização e, em alguns casos, um resfriamento subsequente ao tratamento térmico. Alguns sistemas requerem também uma acidificação. Além disso, a adição de sais, especialmente íons cálcio, pode ser necessária para a formação de géis ou para aumentar o grau de gelatinização e/ou a força dos géis formados (como em géis de proteínas do soro de leite e da soja). O Ca^{2+} promove a ligação de duas moléculas de proteína com carga negativa, melhorando a força do gel. Algumas proteínas, porém, podem se gelatinizar sem aquecimento, por hidrólise enzimática (como a clara de ovo e as micelas de caseína), pela adição de íons cálcio (como as micelas de caseína), ou por uma alcalinização, seguida pelo retorno ao pH do ponto isoelétrico (como as proteínas da soja). Embora muitos géis sejam formados a partir de soluções de proteínas (como ovoalbumina e outras proteínas da clara do ovo, β -lactoglobulina e outras proteínas do soro, micelas de caseína e proteínas da soja), dispersões aquosas ou salinas de proteínas pouco solúveis ou insolúveis também podem formar géis (como colágeno, proteínas miofibrilares, isolados protéicos de soja e outras). Assim, a solubilidade protéica nem sempre é necessária para a gelatinização (FENNEMA, 1985).

3.7.2. Formação e estrutura do gel

Os mecanismos e interações relacionados à formação das redes protéicas tridimensionais características dos géis não estão completamente entendidos. Para que ocorram as interações e agregações proteína-proteína ordenadas envolvidas na formação de géis é necessário que ocorra a desnaturação e o desdobramento da estrutura original da proteína. Isto explica, por exemplo, porque isolados protéicos de soja previamente desnaturados por calor, solventes ou álcalis podem se gelatinizar sem aquecimento adicional.

A formação da rede protéica é resultado de um balanço entre interações proteína-proteína e proteína-solvente, e entre forças atrativas e repulsivas entre cadeias polipeptídicas adjacentes (RUPNOW, 1991). Interações hidrofóbicas (favorecidas a altas temperaturas), interações eletrostáticas (como ligações com Ca^{2+} e outros íons bivalentes), pontes de hidrogênio (favorecidas pelo resfriamento), e/ou ligações dissulfídicas representam as forças atrativas. Sua contribuição relativa varia em função da natureza da proteína, das condições ambientais e das etapas do processo de gelatinização. Repulsões eletrostáticas (especialmente a valores de pH distantes do ponto isoelétrico) e interações proteína-água tendem a manter as cadeias polipeptídicas separadas. A altas concentrações de proteína ocorre um maior número de ligações protéicas devido ao maior contato intermolecular, podendo ocorrer uma gelatinização mesmo em condições ambientais não especialmente favoráveis à agregação protéica (sem aquecimento e a valores de pH distantes do ponto isoelétrico) (FENNEMA, 1985).

O estabelecimento de ligações dissulfídicas covalentes normalmente leva à formação de géis irreversíveis, como os géis de ovoalbumina e β -lactoglobulina. Géis de gelatina, que são estabilizados principalmente por pontes de hidrogênio, por outro lado, fundem-se a temperaturas superiores a 30°C , e o ciclo gelatinização-fusão pode se repetir várias vezes.

Alguns géis são estruturas altamente expandidas e hidratadas, podendo conter mais de 10 g de água por grama de proteína (ou até 98% de água, segundo FENNEMA, 1985), além de vários outros constituintes alimentícios aprisionados na rede protéica. Embora a maior parte da água contida no gel tenha propriedades similares à da água em solução diluída de sal, esta água está fisicamente aprisionada e não pode ser facilmente espremida. Existem várias hipóteses a respeito das forças responsáveis pela elevada capacidade de retenção de água dos géis. Uma das explicações sugere que, depois da desnaturação térmica das estruturas secundárias, grupos CO e NH de ligações peptídicas expostos tornem-se, respectivamente, centros polarizados negativa e positivamente ao longo da cadeia polipeptídica, responsáveis pela criação de um extenso sistema de multicamadas de água. Após o resfriamento, moléculas protéicas deste tipo podem interagir, via re-formação de pontes de hidrogênio, resultando em uma estrutura capaz de imobilizar água livre (FENNEMA, 1985).

Quando se parte de uma solução protéica aquosa, os primeiros passos da gelatinização induzida pelo calor são: a. a dissociação reversível da estrutura quaternária em subunidades ou monômeros; e b. a desnaturação irreversível das estruturas terciária e secundária.

Quanto mais lenta a etapa de agregação, melhor os polipeptídeos parcialmente desdobrados podem se orientar antes da agregação, o que resulta na formação de um gel ordenado, homogêneo, altamente expandido, de textura macia e elástica, transparente e estável à sinérese e exsudação. Os géis formados pela agregação grosseira de partículas protéicas são inelásticos, opacos e instáveis.

A dissociação e/ou o desdobramento das moléculas protéicas expõem grupos reativos, especialmente grupos hidrofóbicos de proteínas globulares. Interações hidrofóbicas proteína-proteína são então favorecidas, promovendo a agregação das moléculas. Proteínas de alta massa molecular e alta porcentagem de aminoácidos hidrofóbicos, portanto, tendem a formar estruturas de rede fortes. As interações hidrofóbicas são favorecidas por temperaturas elevadas; já a formação de pontes de hidrogênio é favorecida pelo resfriamento. O aquecimento pode ainda expor grupos SH e promover a formação de ligações dissulfídicas. A presença de um grande número de grupos SH e SS também fortalece a rede intermolecular e tende a tornar o gel termicamente irreversível. Ligações de cálcio melhoram a firmeza e a estabilidade de alguns tipos de gel.

A faixa de pH na qual ocorre a gelatinização geralmente aumenta com o aumento da concentração protéica. Isto indica que as numerosas ligações hidrofóbicas e dissulfídicas formadas a altas concentrações de proteína podem compensar as forças eletrostáticas repulsivas induzidas pela carga das proteínas a valores de pH distantes dos seus pontos isoelétricos. No pH do ponto isoelétrico, a falta de forças repulsivas resulta em um gel menos expandido, menos hidratado e menos firme. Para proteínas com altas porcentagens de aminoácidos hidrofóbicos (>31,5%, como a albumina do ovo), a faixa de pH para a gelatinização depende da concentração de proteína, enquanto para aquelas com baixas porcentagens de aminoácidos hidrofóbicos (22-31,5%, como as γ -globulinas,

gelatina e proteínas da soja) a faixa de pH para a gelatinização não se altera em função da concentração de proteína (FENNEMA, 1985).

Algumas proteínas com elevadas porcentagens de resíduos hidrofóbicos, como a albumina do ovo, precipitam com o calor a baixas concentrações e resultam em géis opacos a altas concentrações de proteína; outras, com baixos teores de resíduos hidrofóbicos, como a gelatina, permanecem solúveis quando aquecidas a uma baixa concentração de proteína e resultam em géis claros e termorreversíveis a altas concentrações. Proteínas como as caseínas e a β -lactoglobulina têm comportamento semelhante ao da gelatina, embora apresentem porcentagens de aminoácidos hidrofóbicos superiores a 31,5% (38 e 34,6%, respectivamente). Este comportamento talvez possa ser atribuído aos baixos pesos moleculares destas proteínas.

Misturas de diferentes proteínas podem formar géis mistos quando aquecidas conjuntamente. As proteínas também podem formar géis através de interações com agentes gelificantes polissacarídicos (LIN, 1977). Como exemplo, pode-se citar os géis mistos resultantes de interações iônicas específicas entre a região carregada positivamente da κ -caseína e a κ -carragena polissulfatada, ocorridas no pH do leite, responsáveis pelo aprisionamento das micelas de caseína nos géis de carragena.

Além das proteínas, alguns carboidratos, como os hidrocolóides, também podem ser considerados agentes gelificantes. Hidrocolóides são polissacarídeos de alto peso molecular, que se associam facilmente com a água, conferindo estrutura aos alimentos. São exemplos de hidrocolóides que apresentam efeitos gelificantes as gomas guar, locusta ou de alfarroba (LBG), xantana e carragena (KELLER, 1999).

A goma guar é o polissacarídeo do endosperma da semente da leguminosa *Cyamopsis tetragonolobus*, cultivada principalmente na Índia e Paquistão. O LBG é o polissacarídeo extraído da semente da *Ceratonía siliqua*, árvore oriunda de regiões de clima mediterrâneo. A goma xantana é um polissacarídeo extracelular produzido pela *Xantomonas campestris*. A carragena, extraída do musgo *Chondrus crispus*, que cresce ao longo da costa do norte europeu, é uma mistura complexa de, pelo menos, cinco polímeros distintos, dos quais o kappa e o lambda são os mais importantes como ingredientes alimentícios (FENNEMA, 1985).

3.8. Gelatina como ingrediente funcional

3.8.1. Colágeno

O colágeno é a principal fração do tecido conjuntivo. É abundante em tendões, pele, ossos, sistema vascular e no tecido conjuntivo que envolve os músculos, compreendendo um terço ou mais do total de proteína do organismo dos mamíferos (LEHNINGER, 1970). Uma parte do colágeno é solúvel em soluções salinas neutras, outra em ácido e outra fração é insolúvel.

O monômero do colágeno é uma proteína cilíndrica longa, com cerca de 2800 Å de comprimento e 14-15 Å de diâmetro. Consiste de três cadeias polipeptídicas enroladas umas nas outras de forma "suprahelicoidal". O colágeno ocorre em várias formas polimórficas. O tipo mais comum é o colágeno tipo I e consiste de três cadeias polipeptídicas. Duas das cadeias polipeptídicas, α_1 , são idênticas e ligadas uma à outra por pontes de hidrogênio, e a terceira cadeia, α_2 , tem uma sequência de aminoácidos diferente (SIMS & BAILEY, 1981). Outro tipo de colágeno encontrado nos músculos é o tipo III, que é composto por três cadeias α idênticas (α_1). Neste tipo de colágeno, as pontes de hidrogênio intramoleculares ocorrem no peptídeo carboxiterminal não-helicoidal. Outra classe de moléculas de colágeno, tipo IV, é mais complexa e parece consistir de cadeias polipeptídicas de tamanhos diferentes. A composição do colágeno tipo V ainda não foi completamente esclarecida, sendo possível que este corresponda a mais de um único tipo de colágeno. Em alguns casos, entre os cordões peptídicos que constituem o colágeno ocorrem ligações covalentes. Quando dois destes peptídios são ligados por ligações covalentes são chamados de componente β , e quando todos os três são unidos desta forma o produto é conhecido como componente γ . A solubilidade do colágeno diminui conforme aumentam as ligações intermoleculares (FENNEMA, 1985).

Os peptídios do colágeno são em sua maioria helicoidais, com exceção de alguns resíduos das extremidades. Porém, as hélices diferem da α -hélice típica devido à abundância de hidroxiprolinas e prolinas. As moléculas de colágeno são ligadas extremidade a extremidade e adjacentemente, formando uma fibrila de colágeno. As fibrilas de colágeno podem ser arranjadas paralelamente para conferir maior força, como nos tendões, ou ser altamente ramificadas e desordenadas, como na pele.

A composição de aminoácidos do colágeno é pouco comum, sendo que a glicina corresponde a um terço do total de resíduos. Este aminoácido é distribuído uniformemente a cada terceira posição por quase toda a molécula. Esta ocorrência repetitiva da glicina não inclui os primeiros 14 resíduos da fração N-terminal e os 10 primeiros da fração C terminal da molécula (HULTIN, 1976), que são denominados telopeptídios. O colágeno é também a única proteína que contém um alto teor de hidroxiprolina (acima de 10%) e que contém o aminoácido hidroxilisina. A hidroxiprolina estabiliza as moléculas de colágeno (colágenos com baixos teores de hidroxiprolina desnaturam a baixas temperaturas). O colágeno também contém uma grande quantidade de prolina. Esta proteína é nutricionalmente desbalanceada, com relação à composição de aminoácidos; o triptofano, por exemplo, é quase totalmente ausente.

3.8.2. Conversão do colágeno em gelatina

O produto da desnaturação parcial do colágeno, a gelatina (VIRO, 1991), é um ingrediente usado em muitos produtos alimentícios.

Quando expostas a uma temperatura específica (temperatura de encolhimento), característica da espécie animal da qual o colágeno é derivado, as fibrilas de colágeno encolhem-se para cerca de um terço do seu comprimento original (HULTIN, 1976). Este encolhimento envolve um desarranjo das moléculas nas fibrilas e um colapso na molécula triplo-helicoidal. Essencialmente o mesmo tipo de alteração molecular ocorre quando o colágeno é aquecido em solução. O ponto correspondente à metade da conversão do colágeno a gelatina é definido como "melting temperature" (temperatura de fusão). Além das ligações não-covalentes, algumas ligações intermoleculares, algumas intramoleculares e poucas ligações peptídicas da cadeia principal são hidrolisadas. Isto resulta na conversão da estrutura de três cordões do colágeno para uma forma mais amorfa, a gelatina (VEIS, 1965). A desnaturação da molécula de colágeno na conversão à gelatina não é completa.

Depois que a gelatina é produzida e a temperatura é baixada a um valor crítico, ocorre uma renaturação parcial da molécula de colágeno, envolvendo o que é chamado

de “dobramento” do colágeno (VEIS, 1965). Aparentemente, as partes do colágeno ricas em resíduos de prolina e hidroxiprolina readotam, parcialmente, sua estrutura. Quando muitas moléculas estão envolvidas neste processo, uma estrutura tridimensional é formada, que resulta no gel obtido a baixas temperaturas. A capacidade de “dobramento” do colágeno depende da temperatura a que este foi submetido. A estrutura do colágeno, se exposto a temperaturas superiores à de fusão, degrada-se e perde a capacidade de formar gel. A força do gel formado é proporcional ao quadrado da concentração de gelatina e diretamente proporcional ao peso molecular (VEIS, 1965). A força iônica e o pH parecem ter pouca influência na estrutura do gel, dentro dos limites de valores encontrados em produtos alimentícios.

O processamento do colágeno a gelatina envolve três etapas principais. Ocorre, primeiramente, a remoção de componentes não colagenosos da matéria-prima (pele ou ossos), então a conversão do colágeno a gelatina por aquecimento na presença de água e, finalmente, a recuperação da gelatina na forma final. As propriedades moleculares da gelatina dependem do número de ligações que são quebradas nas moléculas de colágeno. A remoção do material não-colagenoso pode ser feita por ácido ou álcali, e os procedimentos usados influenciam as propriedades da gelatina.

Existem, basicamente, dois tipos de gelatina: A e B. A gelatina tipo A é obtida por tratamento ácido e tem um ponto isoelétrico entre 7 e 9 e a tipo B é obtida por tratamento alcalino e tem um ponto isoelétrico entre 4,8 e 5,2 (GIESE, 1994).

3.8.3. Definição de gelatina

Segundo o F.D.A. (Food and Drug Administration – U.S.A.), gelatina é “o produto obtido da hidrólise ácida ou enzimática do colágeno, o principal componente protéico da pele, ossos e tecidos conjuntivos dos animais”.

Os fabricantes europeus definem gelatina como “uma proteína natural, solúvel em água, obtida por hidrólise parcial do colágeno, principal componente dos tecidos conjuntivos dos organismos animais” (MAGALHÃES, 1996).

3.8.4. Solubilidade e granulometria da gelatina

A gelatina é uma proteína solúvel em água quente e relativamente insolúvel em água fria. Embora pouco solúvel em água fria, é solúvel a frio em líquidos como leite, soluções de açúcar e ácidos diluídas (JOHNSTON, 1990).

Quando adicionados em água fria, os grânulos de gelatina intumescem e absorvem cerca de 5 a 10 vezes seu peso em água (PRIEBBENOW, 1991). As características de intumescimento e absorção de água da gelatina são determinadas por fatores como a temperatura e/ou o conteúdo de açúcares do meio (JOHNSTON, 1990). Aumentando-se a temperatura para cerca de 40°C, os grumos de gelatina se solubilizam e, com o resfriamento, formam gel.

A gelatina pode ser apresentada em várias granulometrias, desde grânulos finos (de 14 a 30 mesh) até grânulos grossos (de 6 a 8 mesh) (MAGALHÃES, 1996). A granulometria é uma propriedade da gelatina que influencia diretamente sua homogeneização na mistura. Grânulos muito finos podem não se misturar homogeneamente com outros ingredientes, dependendo do tipo de misturador usado, podendo ocorrer uma separação da gelatina e aderência à superfície do equipamento. A capacidade de absorção de água e dissolução da gelatina também varia em função do tamanho dos grânulos, o que deve ser considerado na definição da relação gelatina:água e na escolha do método de dissolução mais adequado. Grânulos muito grossos não se dissolvem facilmente, comprometendo a gelificação do produto. Grânulos finos se dissolvem mais facilmente, desde que a quantidade de água seja suficiente. Para produtos finais de baixo teor de umidade, uma gelatina de grânulos grossos é mais indicada. Sempre se deve realizar a adição da gelatina à água, evitando-se a formação de grumos (REIS, 1984; JOHNSTON, 1990; GARCIA, 1995).

O tamanho dos grânulos de gelatina intumescidos em água fria depende da concentração desta proteína, do tamanho das partículas e do pH do meio, sendo que o intumescimento máximo ocorre a pHs próximos ao do ponto isoelétrico (PI) da gelatina. A gelatina do tipo A possui PI entre 7,0 e 9,0 e a gelatina do tipo B, entre 4,8 e 5,2 (PRIEBBENOW, 1991).

3.8.5. Bloom da gelatina

O índice que mede a força do gel de gelatina é o "Bloom", e quanto maior seu valor, mais firme o gel formado (JOHNSTON & PETERSON, 1974). De acordo com o método oficial (n° 948.21, A.O.A.C., 1997), a força do gel é determinada em géis com concentração conhecida de gelatina, medida por equipamento com escala em graus Bloom.

A firmeza de um gel é função da concentração e força física da gelatina (TIEMSTRA, 1964). KLETTNER (1992) verificou que um gel com 12% de gelatina de 80° Bloom apresenta força equivalente a um gel com 6,67% de gelatina de 260° Bloom. Sendo assim, concentração e força física da gelatina devem ser combinados para a obtenção de uma determinada força de gel.

Gelatinas de alta força de gelificação promovem maior aeração e conferem maior elasticidade ao produto.

3.8.6. Propriedades funcionais da gelatina

As principais propriedades funcionais da gelatina são a gelificação, a emulsificação e a formação e estabilização de espumas (CÂNDIDO & CAMPOS, 1995).

A gelatina tem a capacidade de formar géis estáveis a partir de soluções relativamente pouco concentradas, em uma ampla faixa de pH, (de 2,0 a 8,0) por aquecimento seguido de resfriamento. Os géis de gelatina são translúcidos e termorreversíveis, fundindo-se a temperaturas superiores a 30°C.

De maneira geral, pequenas concentrações de ácido têm efeito positivo na formação de géis de gelatina (POPPE, 1995). O efeito do ácido varia em função da concentração de gelatina e temperatura de processamento. A temperaturas superiores a 80°C, a acidificação pode provocar a hidrólise da gelatina. Por outro lado, a temperaturas próximas do ponto de gelificação (de 35 a 40°C), a presença de um ácido favorece a

formação de gel (POPPE,1995). Altas concentrações de ácido podem comprometer a rigidez do gel.

Como agente formador e estabilizante de espumas, a gelatina age formando uma película ao redor de bolhas de ar dispersas em uma fase líquida, estabilizando o sistema (GARCIA, 1995). A gelatina é o principal agente aerante utilizado em produtos de confeitaria.

3.9. Caseína como ingrediente funcional

O leite apresenta duas principais frações protéicas: as caseínas e as proteínas do soro (FOX & MCSWEENEY, 1998).

O emprego das proteínas do leite como ingrediente alimentício justifica-se pelas suas excelentes propriedades nutricionais, funcionais e sensoriais.

As propriedades funcionais de um ingrediente protéico dependem de suas características estruturais. A estrutura aberta e anfifílica das caseínas confere a estas proteínas excelente funcionalidade.

A funcionalidade de diferentes produtos de caseína varia de acordo com o método usado para sua obtenção. Caseínas ácidas são precipitados isoeletricos (pH 4,6) e não apresentam boa solubilidade. A caseína obtida por coagulação enzimática, insolúvel na presença de Ca^{2+} , não contém a κ -caseína, de natureza anfifílica, uma vez que o macropeptídeo hidrofílico C terminal foi clivado da estrutura. Esta caseína apresenta um alto teor de cinzas, uma vez que o fosfato-citrato de cálcio coloidal é retido nas micelas, enquanto as caseínas ácidas contêm baixo teor de cinzas, devido à perda de fosfato de cálcio para o soro.

Os caseinatos (de sódio, cálcio e potássio) são preparados pela neutralização da caseína ácida com um álcali, antes da secagem. Estes isolados, especialmente os de sódio e potássio, são muito solúveis e extremamente estáveis ao calor.

As caseínas apresentam boa solubilidade e estabilidade ao calor a pHs acima de 6,0. Nestas condições de pH, estas proteínas apresentam excelentes propriedades de ligação de água, espessante, gelificante, emulsificante e espumante. Assim, os caseinatos têm sido largamente empregados em produtos cárneos, proteínas vegetais texturizadas, branqueadores de café, substitutos de cremes, margarinas, coberturas e como estabilizantes de espumas.

3.10. Concentrado protéico de soro como ingrediente funcional

As proteínas do soro representam 20% do total de proteínas do leite. Estas proteínas são ingredientes interessantes do ponto de vista nutricional devido à sua alta concentração de aminoácidos sulfurados. Além do aspecto nutricional, as proteínas do soro apresentam várias propriedades funcionais. Segundo MORR (1985), comparadas às caseínas, as proteínas do soro apresentam melhores propriedades de formação de géis, espumas e emulsões. Este fato se deve à alta solubilidade destas proteínas em solventes polares (como a água), em amplas faixas de pH.

As proteínas do soro de leite desnaturam rapidamente a temperaturas acima de 70°C. Sendo assim, os tratamentos térmicos utilizados na produção de concentrados protéicos de soro desnaturam parcialmente estas proteínas e afetam suas propriedades funcionais (MANGINO *et al.*, 1987). As imunoglobulinas são as menos estáveis ao calor destas proteínas; a soroalbumina, a β -lactoglobulina e a α -lactoalbumina apresentam maior estabilidade. As proteínas do soro desnaturadas por calor, particularmente a β -lactoglobulina, são consideravelmente menos solúveis e mais sensíveis aos íons cálcio. Quando não-desnaturadas, as proteínas do soro são razoavelmente solúveis a pHs ácidos (SWAISGOOD, 1985).

Os processos de obtenção das proteínas do soro, na forma de concentrados e isolados, incluem a ultrafiltração, a diafiltração, a filtração em gel e a troca iônica. Estes processos podem causar desnaturação e comprometer a funcionalidade das proteínas do soro. Os produtos obtidos por diferentes processos variam grandemente quanto à composição e extensão da desnaturação. A desvantagem da maior parte destes processos é a produção de concentrados protéicos com lipídios residuais, que podem

causar o desenvolvimento de sabores indesejáveis e prejudicar propriedades funcionais como a formação de gel e espuma. Diversas tentativas têm sido realizadas no sentido de reduzir o teor de lipídios residuais nos concentrados protéicos de soro, incluindo métodos como centrifugação, ajuste de pH e adição de sais (BURGES & KELLY, 1979).

Os concentrados protéicos de soro apresentam de 35 a 85% de proteína e os isolados mais de 85%. A maior parte das aplicações em alimentos requer que os concentrados e isolados protéicos de soro sejam altamente solúveis, com níveis baixos de lipídios, lactose, sais e outros componentes do soro.

Atualmente, os concentrados e isolados protéicos de soro são utilizados como ingredientes funcionais no processamento de muitos alimentos, oferecendo inúmeras propriedades, como solubilidade, capacidade de retenção de água, espessante, gelificante, emulsificante e de formação de espuma (DIEHL, 1995).

Concentrados e isolados protéicos de soro pouco desnaturados exibem melhores propriedades de hidratação e emulsificação. Alguns isolados são estabilizantes de espuma efetivos e formam géis comparáveis aos da proteína da clara de ovo. A lactoalbumina é mais indicada para produtos que requerem propriedades de textura e reológicas, como produtos cámeos, queijos processados, massas e "snacks". Por serem solúveis em pHs baixos, os concentrados e isolados protéicos de soro podem ter aplicações em formulações alimentícias ácidas, como bebidas carbonatadas (FENNEMA, 1985).

3.10.1. Fatores que influenciam a formação e a estabilidade de espumas obtidas a partir de proteínas do soro de leite

As proteínas do soro de leite possuem capacidade de formação e estabilização de espumas, úteis no desenvolvimento de produtos aerados.

As propriedades espumantes das proteínas do soro são influenciadas por diversos fatores, como concentração de proteína e presença de lipídios residuais no concentrado

protéico, concentração de proteína e gordura no sistema, complexação com outras moléculas, pH e temperatura (AULER *et al.*, 2000).

VAGHELA & KILARA (1996) testaram a redução do teor de lipídios residuais de concentrados protéicos de soro pela adição de CaCl_2 , verificando uma melhora na estabilidade da espuma, embora não se tenha observado diferenças no volume de espuma formado com o uso de concentrados com menor teor de lipídios.

BRITTEN & LAVOIE (1992) estudaram o efeito da concentração de proteínas do soro na formação e estabilidade de espumas, tendo observado um aumento do volume e da estabilidade da espuma com o aumento da concentração de proteínas até o limite de 8%, acima do qual ocorreu uma redução na formação de espuma. MANGINO (1984) relacionou o teor de concentrado protéico de soro adicionado à quantidade de ar incorporado ao alimento e sua textura. Este autor constatou ocorrer uma maior incorporação de ar com o aumento do teor de concentrado protéico adicionado, com a consequente diminuição da firmeza do alimento.

O efeito da adição de lipídios na formação de espumas foi estudado por vários autores. MCDONOUGH (1974) avaliou o efeito da adição de concentrado protéico de soro e gordura láctea na formação e estabilização de espumas. Este autor observou que a adição de até 2% de gordura láctea provocou o aumento do volume e da estabilidade da espuma formada. NIROUMAND (1978 b), em testes em sistemas modelo, verificou o aumento da firmeza de espumas contendo concentrado protéico de soro e gordura láctea. O aumento da firmeza foi relacionado à solidificação da gordura a baixas temperaturas. ANDERSON & BROOKER (1988) relataram que o acréscimo de gordura a cremes lácteos batidos (chantilly) aumentou sua firmeza. Segundo estes autores, a presença de gordura indisponibiliza regiões hidrofóbicas das moléculas de proteína que participariam da formação de bolhas de ar, diminuindo a incorporação de ar à mistura, o que resulta em um produto mais denso.

A complexação das proteínas do soro de leite com outras macromoléculas, como a carboximetilcelulose, utilizada como agente estabilizante, não alterou o volume de espuma formado e melhorou a estabilidade do sistema, segundo HANSEN & BLACK (1972). MLEKO (1997) estudou a influência da adição de dois agentes espessantes,

fécula de batatas e carragena, a um sistema modelo que simulava a composição de uma sobremesa láctea (açúcar/sacarose, leite em pó e concentrado protéico de soro) e verificou que a adição de tais agentes melhorou a textura do produto até determinada concentração, acima da qual a textura tornou-se excessivamente firme.

O efeito do pH na estabilidade de espumas formadas com o uso de concentrado protéico de soro foi estudado por DE VILBISS *et al.* (1974). A maior estabilidade de espuma foi obtida a pH 4,0.

3.10.2. Aplicações de concentrados protéicos de soro em produtos aerados

As proteínas do soro de leite têm muitas aplicações em produtos aerados, como recheios, coberturas, mousses, merengues, bolos e pães.

NIROUMAND (1978a,b) sugere a substituição da clara de ovo por proteínas do soro como agente aerante na indústria de panificação, sendo este um produto de menor custo e que apresenta vantagens quanto a aspectos nutricionais, funcionais e microbiológicos.

Existem inúmeras patentes sobre formulação e preparo de mousses (MITCHELL & STRINGER, 1971; ANON, 1972a; ANON, 1972b; MENZI & DOVE, 1981; HOLT & VOSS, 1986; STAUBER, 1986; SOE, 1987; ESTROUP *et al.*, 1988; GIDDEY & DOVE, 1988; PONTHER, 1988; CHAUVIN, 1995). Os ingredientes utilizados nestas formulações são muito variados, mas basicamente a mousse é obtida a partir de uma emulsão de gorduras estabilizada por proteínas, adicionada de outros ingredientes, à qual é incorporado ar através de agitação, formando uma espuma. A incorporação de ar é responsável pela estrutura característica deste produto (AULER *et al.*, 2000).

AULER *et al.* (2000) estudaram diferentes formulações de mousse, empregando como agentes aerantes clara de ovo e concentrado protéico de soro. A formulação contendo 1,4% de concentrado protéico de soro, comparada às formulações com 3, 5 e 11%, resultou em mousses de textura mais firme, semelhantes à sobremesa produzida de forma caseira. As mousses elaboradas com clara de ovo apresentaram separação de

fases com 24 horas de armazenamento sob refrigeração, mostrando-se menos firmes e mais instáveis que as elaboradas com concentrado protéico de soro.

3.11. Suco de maracujá como ingrediente

3.11.1. Aspectos nutricionais e composição do maracujá

O maracujá amarelo (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa*) é a variedade mais comum, de maior produtividade e a única processada industrialmente no Brasil. Seu fruto apresenta aroma e sabor acentuados, sendo muito apreciado. Quanto aos aspectos nutricionais, apresenta elevados teores de fósforo, potássio, vitamina B1 (tiamina) e niacina.

A composição do maracujá amarelo varia em função de uma série de fatores, como genótipo, estágio de maturação do fruto, época do ano da colheita, tratamentos culturais, fertilidade e disponibilidade de nutrientes do solo e clima. O pH do suco de maracujá varia de 2,8 a 3,3, o teor de acidez total titulável de 2,9% a 5,0% e o teor de sólidos solúveis totais de 12,5% a 18,0%. Em média, esta fruta apresenta 13,6% de carboidratos, 0,39% de proteína, 0,05% de lipídios, 0,04% de fibras e 0,34% de cinzas (JAGTIANI, 1988; FRANCO, 1989). A composição do suco de maracujá interfere no processamento e na qualidade dos produtos dele derivados.

Os principais produtos industrializados do maracujá são o suco integral pasteurizado congelado e suco concentrado congelado, base para a fabricação de vários outros.

3.11.2. Suco de maracujá: definição, processamento e produtos derivados

O suco de maracujá é definido na Legislação Brasileira como “a bebida não fermentada e não diluída, obtida da parte comestível do maracujá (*Passiflora* spp.) através de processo tecnológico adequado”, que deve apresentar cor de amarela a alaranjado, aroma e sabor próprios, teor mínimo de sólidos solúveis totais e acidez total

de 11,0° Brix e 2,5 g/100g, respectivamente, e teor máximo de açúcares totais de 18,0 g/100g (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO, 1999).

O processamento de suco integral pasteurizado de maracujá inclui as etapas de seleção inicial dos frutos, lavagem, seleção final, corte, separação das cascas e sementes (extração do suco), acabamento (retirada de parte da polpa), pasteurização, acondicionamento, congelamento e armazenamento (-18°C). O processamento de suco concentrado congelado de maracujá segue as mesmas etapas mencionadas para o preparo do suco integral até a operação de acabamento. A partir desta etapa, o suco é submetido aos processos de inativação enzimática, resfriamento, concentração, resfriamento, "cut back" (reposição de compostos aromáticos), congelamento e armazenamento. Por um processo alternativo, o suco, após a operação de concentração, pode seguir as etapas de pasteurização, acondicionamento, resfriamento e armazenamento (TOCCHINI *et al.*, 1994; TOCCHINI *et al.*, 1995; ARTHEY & ASHURST, 1996, JAGTIANI, 1988).

O suco de maracujá pode ser processado a diversos outros produtos, como néctar puro ou misto, refresco em pó, bebida à base de proteína hidrossolúvel de soja adicionada de suco de maracujá, iogurte, sorvete, geléia, dentre outros (SILVA, 1999).

Tanto o suco integral pasteurizado quanto o concentrado podem ser utilizados na elaboração da mousse de maracujá. O suco integral preserva melhor as características de aroma e sabor da fruta fresca, por ser submetido a um número menor de operações durante seu processamento; já o suco concentrado, por ter custo mais baixo nas etapas de armazenamento e transporte, tem um custo final menor (MATSUURA & FOLEGATTI, 1999).

3.12. Processamento de produtos aerados

3.12.1. Etapas do processamento de produtos aerados

A primeira etapa do processamento de produtos aerados consiste no preparo do xarope de açúcares. O xarope é preparado por aquecimento em tacho encamisado com

vapor até uma determinada concentração de sólidos solúveis totais. O resfriamento do xarope, antes da adição do agente aerante, pode ser feito em câmara "flash" (GARCIA, 1995).

Quando a gelatina é empregada como agente aerante, sua dissolução pode ser feita por hidratação em água fria com posterior dissolução em água quente ou por dissolução direta em água quente, dependendo do processo de batimento adotado, da relação água:gelatina, da viscosidade e da temperatura do xarope de açúcares (GARCIA, 1995). Depois de dissolvida, a gelatina é adicionada ao xarope de açúcares, a mistura é batida (aeração) até a obtenção de uma espuma com uma densidade específica e, a seguir, resfriada, por exemplo, em um trocador de calor de superfície raspada.

Os métodos usados industrialmente para aeração podem ser divididos em químicos e mecânicos. O ar pode ser incorporado ao xarope de açúcares ou à massa por batimento mecânico em processos descontínuo ou contínuo, sob pressão atmosférica ou sob alta pressão (GROSSO, 1972).

3.12.2. Processo descontínuo de batimento

Para a produção em pequena escala de produtos aerados pode ser utilizado um processo de batimento descontínuo, à pressão atmosférica, em batedeira planetária com controle de velocidade de rotação (por exemplo, a tipo "Hobart") (MANSVELT, 1972). Estas batedeiras são compostas por um recipiente dentro do qual gira um batedor (globo de arame). Este tipo de batedor promove uma boa incorporação de ar, em tempos curtos de batimento, sendo indicado para produtos aerados de baixa densidade (GROSSO, 1972).

Industrialmente são utilizadas batedeiras horizontais, compostas por um recipiente cilíndrico horizontal dentro do qual existe um eixo com espátulas móveis. Geralmente este recipiente é encamisado, permitindo o controle da temperatura do xarope ou da massa. O batimento é realizado à pressão atmosférica. Este sistema vem sendo substituído pelo sistema contínuo, a alta pressão. O processo de aeração contínuo possibilita o maior

controle das variáveis do sistema, resultando na obtenção de um produto final mais uniforme (GARCIA, 1995).

3.12.3. Processo contínuo de batimento

O processo contínuo de batimento utiliza uma batedeira com controle de pressão, que consta de um recipiente com tampa para o qual é bombeada a mistura a ser batida (por exemplo, a tipo "Oakes"). Ligados a este recipiente existem um compressor, um barômetro e um temporizador. O batimento em processo contínuo sob alta pressão é indicado para grandes volumes de produção (JEFFERY, 1972). O processo sob pressão leva de 1/5 a 1/10 do tempo gasto no processo à pressão atmosférica para atingir o mesmo nível de aeração (LEES, 1991).

Em termos gerais, pode-se dizer que o tipo de equipamento a ser utilizado é determinado pelo volume de produção diária do produto. As batedeiras planetárias permitem uma produção de 500 litros de aerado por dia; as batedeiras de pressão tipo "Morton" podem produzir até 2000 litros em 8 horas de trabalho, enquanto o misturador contínuo "Oakes" produz até 7000 litros no mesmo tempo (GROSSO, 1972).

3.13. Processamento de produtos tipo mousse

Existem diferentes formas de processamento de produtos tipo mousse. De maneira geral, a elaboração de mousses envolve as etapas de formulação, aeração, envase e resfriamento. A formulação consiste na mistura dos ingredientes. A aeração (realizada, por exemplo, em batedeira planetária) tem a função de incorporar ar ao produto. O envase é feito em copos plásticos rígidos transparentes, fechados com selo de alumínio revestido com filme plástico termossoldável ou tampa plástica. Imediatamente após o envase é realizado o resfriamento à temperatura de 12°C.

AULER *et al.* (2000), testaram dois diferentes processos para a elaboração de mousses de maracujá, apresentados nas Figuras 1 e 2. Neste trabalho, as mousses

obtidas pelo processamento segundo o fluxograma 2 apresentaram menor aeração e textura mais firme (cremosa).

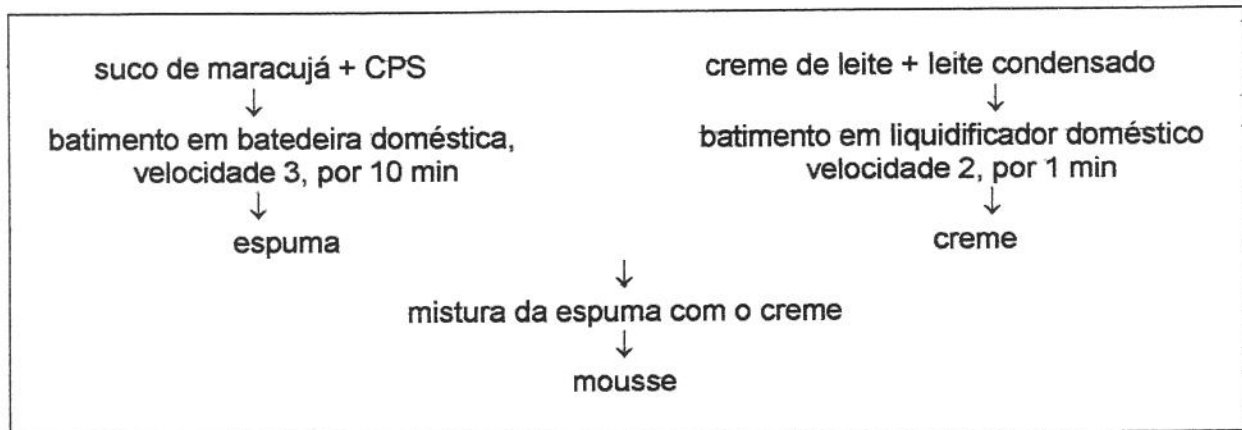


Figura 1. Fluxograma do processamento de mousse de maracujá com o batimento em separado do creme e da espuma. Fonte: AULER *et al.* (2000).

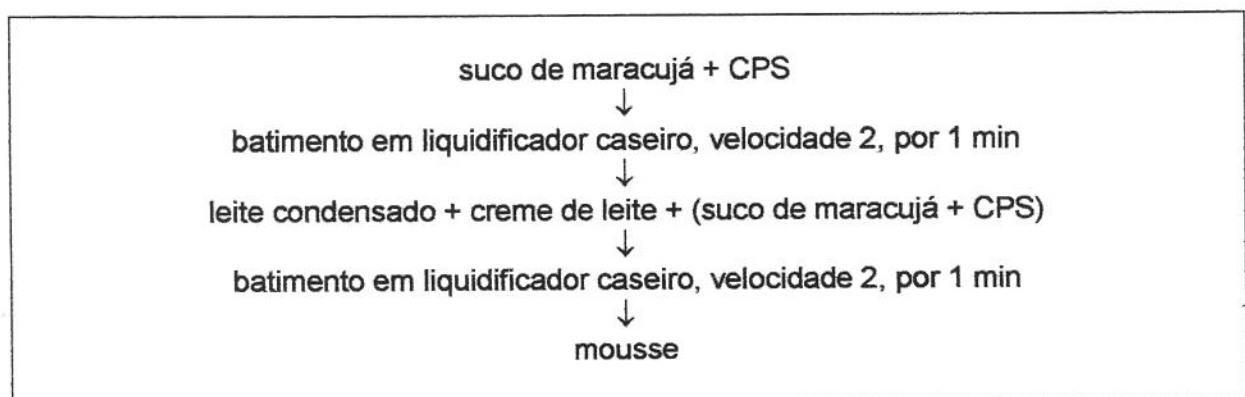


Figura 2. Fluxograma do processamento de mousse de maracujá com o batimento de todos os ingredientes conjuntamente. Fonte: AULER *et al.* (2000).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Primeira Fase Experimental: desenvolvimento de formulações

4.1.1. Desenvolvimento da formulação básica de mousse de maracujá

Na primeira fase experimental, diferentes “receitas caseiras” de mousse de maracujá foram elaboradas e avaliadas em testes sensoriais de bancada. A formulação preferida foi simplificada, dispensando-se alguns ingredientes não determinantes das características organolépticas desejáveis no produto, de forma a minimizar variáveis interferentes na funcionalidade do agente aerante/estabilizante da mousse. Diferentes ordens de adição dos ingredientes e processos de batimento também foram testados. Desenvolveu-se uma formulação básica (Tabela 10) e uma forma de processamento (Figura 3) a partir dos quais foram realizados testes com ingredientes substitutivos (avaliando-se ingredientes de menor custo e/ou maior praticidade de uso), com diferentes agentes aerantes/gelificantes protéicos e diferentes condições de processo (tratamento térmico e mecânico) e armazenamento. Os testes com diferentes gomas utilizaram uma formulação e um fluxograma de processamento distintos.

TABELA 10. Formulação básica de mousse de maracujá

Ingredientes	(%) em relação à massa total
Leite condensado	42
Suco de maracujá integral pasteurizado	25
Açúcar refinado	10
Água potável	100g – 77g – xg de agente aerante
Agente aerante	xg

4.1.2. Testes com diferentes agentes aerantes/gelificantes, ingredientes substitutivos e condições de processo e armazenamento

Diferentes ingredientes substitutivos e tipos de agentes aerantes/gelificantes foram testados, em diferentes concentrações, submetidos ou não a diferentes tratamentos térmicos e mecânicos e condições de armazenamento, totalizando 110 tratamentos.

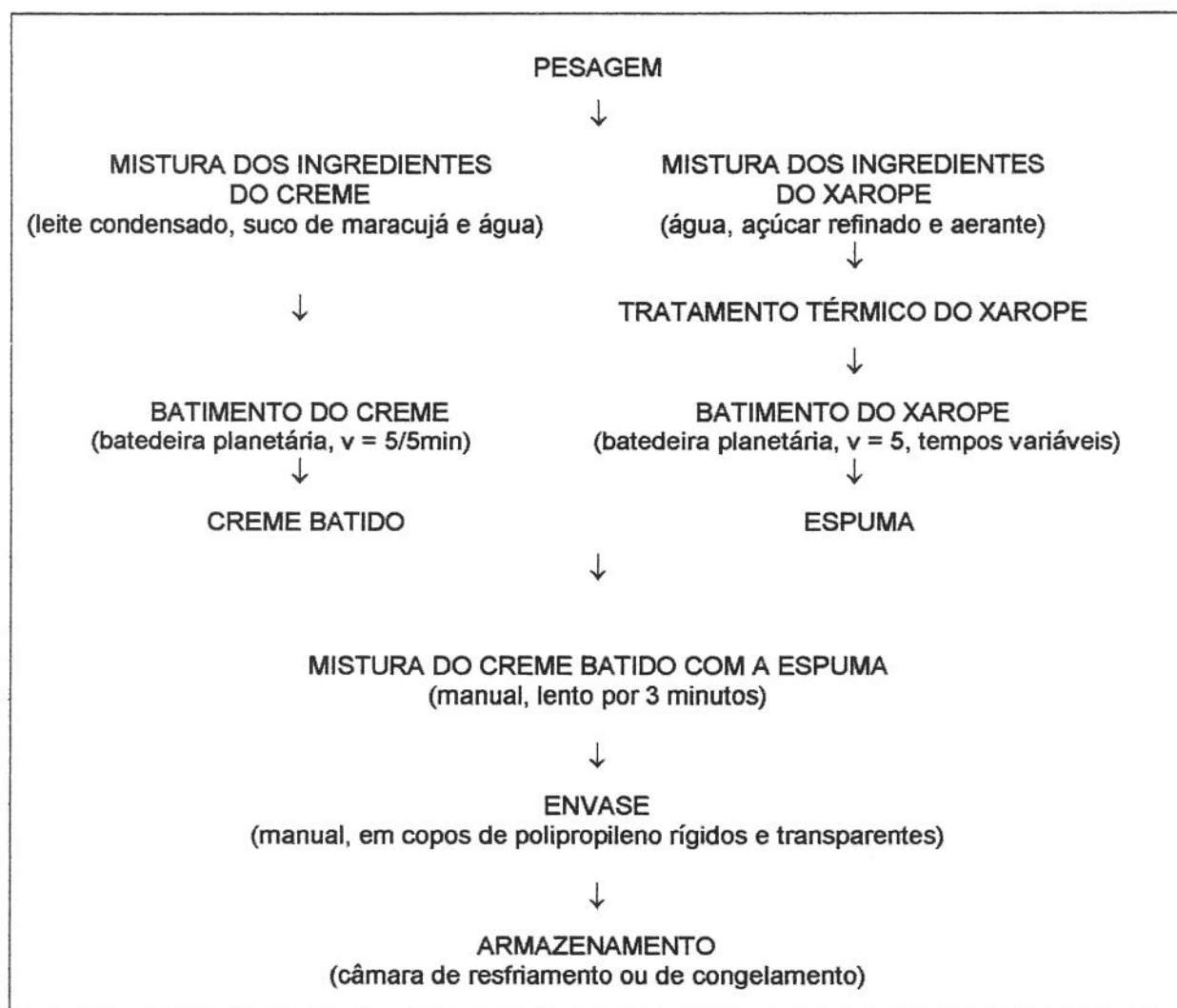


FIGURA 3. Fluxograma de processamento de mousse de maracujá.

Nos testes com as gomas, foi utilizada a formulação: 47,0 % de leite condensado comercial, 40,0 % de suco de maracujá integral pasteurizado, de 11,5 a 12,5 % de água potável e diferentes tipos e concentrações de gomas.

As gomas e as respectivas concentrações estudadas foram:

1. Carragena (força do gel a 1,5 %, 20°C = 200 g/cm², 80 mesh, fornecida pela empresa MSC Co.), testada nas concentrações de 0,5, 1,0 e 1,5 %;
2. Carragena iota (80 mesh, MSC Co.), testada a 1,5 %;

3. Goma guar (MSC Co.), testada a 0,5, 1,0 e 1,5 %;
4. Goma locusta (MSC Co.), testada a 0,5, 1,0 e 1,5 %;
5. Goma xantana (200 mesh, MSC Co.), testada a 0,5, 1,0 e 1,5 %.

Os demais testes utilizaram a formulação básica (Tabela 10). Nos testes com ingredientes alternativos, o leite condensado comercial (fornecido pela empresa Fleishmann Royal – Nabisco) foi substituído por misturas de leite em pó integral (Fleishmann Royal – Nabisco), açúcar refinado (Coopersucar) e água potável (nas proporções 1:2:1 e 2:2:1); o suco de maracujá integral pasteurizado (Fruteza) foi substituído por suco de maracujá reconstituído e por suco de maracujá concentrado diluído para a concentração de 12 % de sólidos solúveis totais.

Os agentes aerantes/gelificantes protéicos estudados foram:

- a. Clara de ovo, testada nas concentrações de 6,0, 7,0, 8,0 e 9,0 %;
- b. Gelatina em folha comercial (da marca Oetker), testada a 0,5, 0,6 e 1,0 %;
- c. Gelatina em pó comercial (Oetker), testada a 1,0 e 1,5 %;
- d. Gelatina de 200 Bloom (tipo B, Bloom a 6,66 % = 206 g, 30 mesh, Leiner Davis Gelatin), testada a 0,50, 0,75 e 1,00 %;
- e. Gelatina de 260 Bloom (tipo B, Bloom a 6,66 % = 260 g, 30 mesh, Leiner Davis Gelatin), testada a 1,0 %;
- f. Gelatina com amido (140-180 Bloom, 177 μ , SKW Biosystems), testada a 1,0, 1,5, 2,0 e 4,0 %;
- g. Concentrado protéico de soro (força do gel a 15 %, 75°C/60min = 713g/cm², NZMP), testado a 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 e 5,0 %;

h. Caseinato de sódio (NZMP), testado a 1,0, 2,0, 3,0 e 5,0 %;

i. Isolado protéico de soja (100 mesh, Ceval), testado a 1,0, 2,0, 3,0, 5,0 e 7,0 %.

Os tratamentos com as gomas e alguns dos tratamentos com agentes aerantes/gelificantes protéicos, como a clara de ovo, a gelatina com amido (dispersível e solúvel a frio) e o isolado protéico de soja, não foram submetidos a tratamento térmico. Os xaropes dos tratamentos com gelatina (em folha comercial, em pó comercial, de 200 e 260 Bloom) foram aquecidos, em chapa aquecedora, até atingirem a temperatura de 94°C, resfriados a 85°C, adicionadas da gelatina hidratada (gelatina adicionada a um volume de água equivalente a 15 % do total de água do xarope, 30 minutos antes da sua adição ao xarope) e resfriados, em banho frio, a 45°C. Aos xaropes de sacarose com concentrado protéico de soro foram aplicados diferentes tratamentos térmicos, como aquecimento até a temperatura de 45°C, 85°C, 90°C e 100°C, e diferentes combinações temperatura/tempo, como 70°C/15min, 82°C/15min, 90°C/5min, 100°C/3min, 100°C/5min, 100°C/10min e 100°C/15min, com posterior resfriamento a 45°C (para os tratamentos que empregaram temperaturas superiores a esta). Os xaropes de sacarose com caseinato de sódio foram aquecidos a 80°C e resfriados a 45°C.

Nos testes com diferentes gomas, todos os ingredientes foram batidos conjuntamente, em liquidificador (Walita, modelo Milano), à velocidade máxima por 5 minutos. Nos testes com diferentes agentes aerantes/gelificantes protéicos utilizou-se as seguintes condições: para o batimento dos cremes (misturas de leite condensado comercial, suco de maracujá integral pasteurizado e água potável) e dos xaropes (água potável, sacarose e agente aerante) foi usada uma batedeira planetária Arno, modelo MIX-P, com controle de velocidade. Testou-se o batimento do creme à temperatura de 27°C, à velocidade 5, por 3 e 5 minutos. Para os xaropes de sacarose com agente aerante foram testados: batimento à temperatura de 27 e 45°C, à velocidade 5, por tempos de 120 s, 150 s, 210 s, 300 s, 390 s, 450 s, 480 s, 10 min, 12 min e 30 s, 15 min, 17 min e 30 s, 20 min e 22 min e 30 s.

As mousses dos diferentes tratamentos foram armazenadas em duas condições: em câmara de resfriamento a 7°C e câmara de congelamento a -20°C.

As mousses resultantes dos diferentes tratamentos foram avaliadas em testes sensoriais de bancada, que serviram como base para a definição do tipo de agente aerante, das variáveis e níveis das variáveis a serem testados na fase seguinte, no estudo de otimização de formulações, e para a determinação das variáveis fixas.

4.2. Segunda Fase Experimental: otimização de formulações

4.2.1. Delineamento experimental

Para a otimização das formulações de mousse de maracujá (com base em análises sensoriais e instrumentais de textura) dos três diferentes agentes aerantes selecionados na primeira fase experimental – gelatina de 200 Bloom, concentrado protéico de soro e caseinato de sódio – foram consideradas duas variáveis: concentração de agente aerante e tempo de batimento do xarope. As demais variáveis foram mantidas fixas: a. o batimento do creme foi feito em batedeira planetária à velocidade 5 por 5 minutos; b. o tratamento térmico dos xaropes dos tratamentos com gelatina consistiu no aquecimento do xarope de sacarose a 94°C, resfriamento a 85°C, adição da gelatina hidratada (por 30 minutos) e resfriamento a 45°C; o tratamento térmico dos xaropes com concentrado protéico de soro e caseinato de sódio consistiu no aquecimento a 85°C e 80°C, respectivamente, seguido por resfriamento a 45°C; c. o tempo de mistura do creme batido com a espuma foi de 3 minutos; e d. as amostras de mousse foram armazenadas resfriadas, a 7°C.

A otimização foi feita utilizando-se Metodologia de Superfície de Resposta. O delineamento experimental adotado foi o fatorial 2^2 , com três pontos centrais e dois pontos axiais por variável (Delineamento Composto Central), correspondendo a 11 tratamentos (Tabelas 11, 12 e 13).

TABELA 11. Tratamentos correspondentes ao delineamento experimental para o agente aerante gelatina (200 Bloom), com valores reais e codificados das variáveis independentes.

Tratamentos	Variáveis Independentes			
	Concentração de Gelatina		Tempo de batimento do xarope	
	codificados	decodificados	codificados	decodificados
G1	-1	0,50%	-1	450 s
G2	+1	1,00%	-1	450 s
G3	-1	0,50%	+1	750 s
G4	+1	1,00%	+1	750 s
G5	0	0,75%	0	600 s
G6	0	0,75%	0	600 s
G7	0	0,75%	0	600 s
G8	-1,41	0,40%	0	390 s
G9	+1,41	1,10%	0	810 s
G10	0	0,75%	-1,41	600 s
G11	0	0,75%	+1,41	600 s

TABELA 12. Tratamentos correspondentes ao delineamento experimental para o agente aerante concentrado protéico de soro (CPS), com valores reais e codificados das variáveis independentes.

Tratamentos	Variáveis independentes			
	Concentração de CPS		Tempo de batimento do xarope	
	codificados	decodificados	codificados	decodificados
CPS1	-1	1,36%	-1	450 s
CPS2	+1	3,14%	-1	450 s
CPS3	-1	1,36%	+1	750 s
CPS4	+1	3,14%	+1	750 s
CPS5	0	2,25%	0	600 s
CPS6	0	2,25%	0	600 s
CPS7	0	2,25%	0	600 s
CPS8	-1,41	1,00%	0	390 s
CPS9	+1,41	3,50%	0	810 s
CPS10	0	2,25%	-1,41	600 s
CPS11	0	2,25%	+1,41	600 s

TABELA 13. Tratamentos correspondentes ao delineamento experimental para o agente aerante caseinato de sódio (CS), com valores reais e codificados das variáveis independentes.

Tratamentos	Variáveis independentes			
	Concentração de CS		Tempo de batimento do xarope	
	codificados	decodificados	codificados	decodificados
CS1	-1	1,00%	-1	450 s
CS2	+1	2,00%	-1	450 s
CS3	-1	1,00%	+1	750 s
CS4	+1	2,00%	+1	750 s
CS5	0	1,50%	0	600 s
CS6	0	1,50%	0	600 s
CS7	0	1,50%	0	600 s
CS8	-1,41	0,80%	0	390 s
CS9	+1,41	2,20%	0	810 s
CS10	0	1,50%	-1,41	600 s
CS11	0	1,50%	+1,41	600 s

4.2.2. Estudo das espumas

4.2.2.1. Delineamento experimental

As espumas obtidas com o batimento do xarope de sacarose com agente aerante, preparadas empregando-se as concentrações de agente aerante e tempos de batimento definidos pelo delineamento utilizado para a otimização de formulações, assim como as mesmas condições adotadas para as variáveis fixas, foram estudadas isoladamente, com o intuito de se conhecer o comportamento deste sistema, principal determinante das características físicas do produto final.

4.2.2.2. Formulações e fluxogramas de processamento

As proporções de água, açúcar refinado e agente aerante dos xaropes dos diferentes tratamentos corresponderam às mesmas das formulações de mousse daquele tratamento. Os processamentos das espumas dos tratamentos com gelatina, concentrado protéico de soro e caseinato de cálcio seguiram os fluxogramas apresentados nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

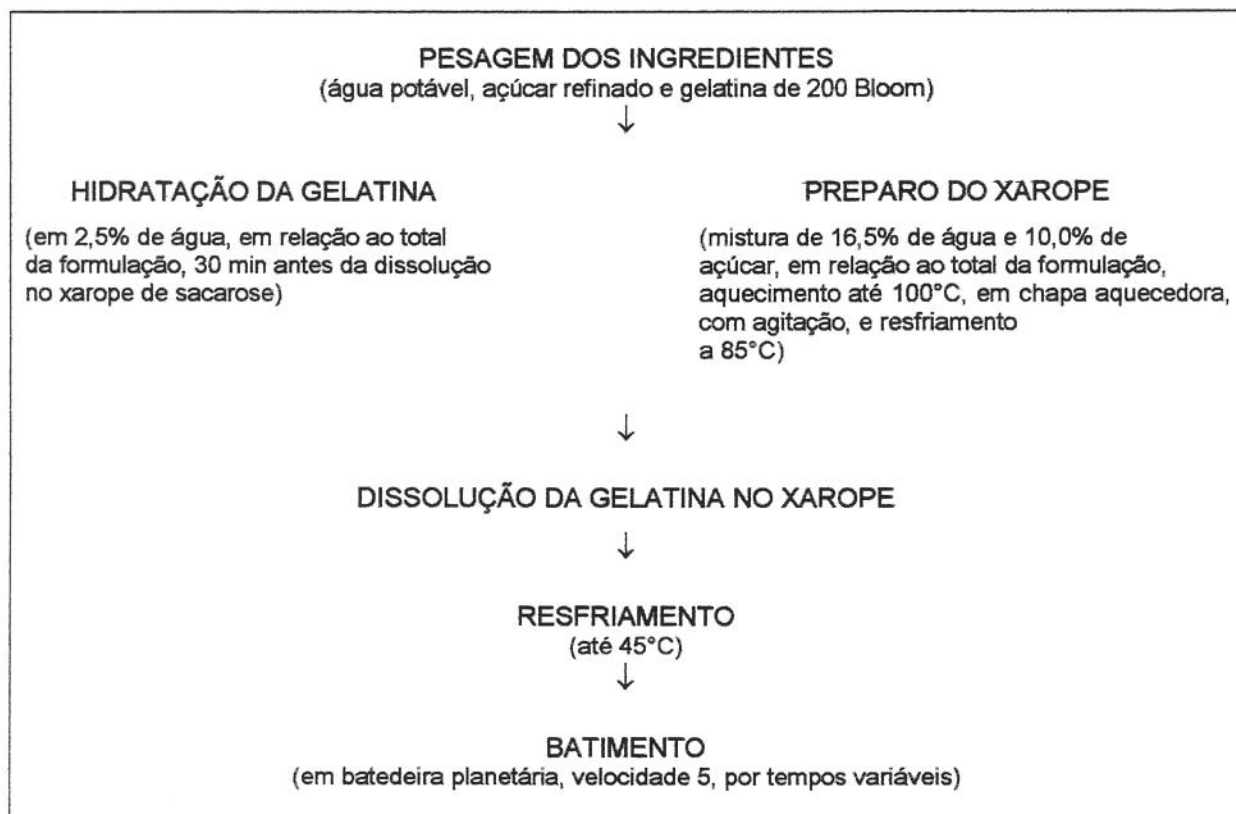


Figura 4. Preparação da espuma dos tratamentos com gelatina.

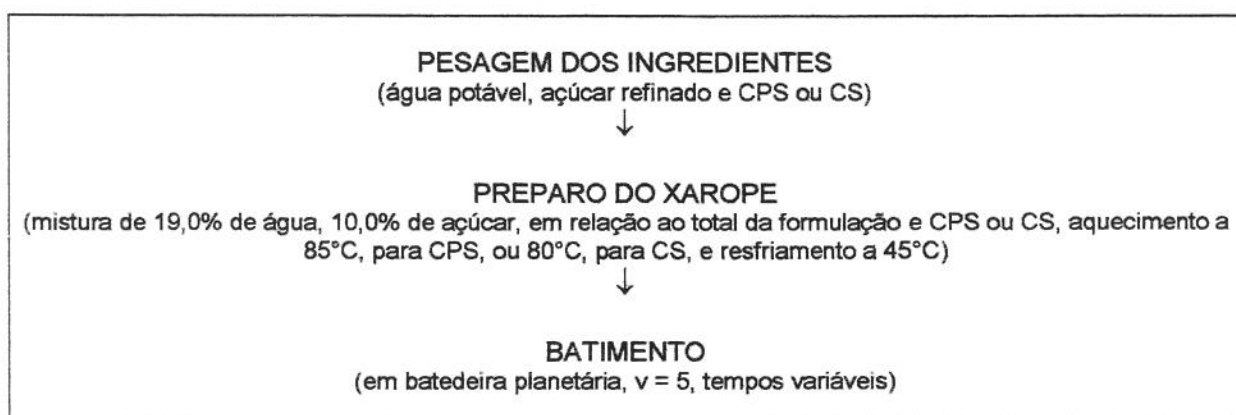


Figura 5. Preparação da espuma dos tratamentos com concentrado protéico de soro (CPS) ou caseinato de sódio (CS).

4.2.2.3. Análises físicas, físico-químicas e químicas

Os agentes aerantes usados nesta fase experimental, gelatina de 200 Bloom, concentrado protéico de soro e caseinato de sódio, foram analisados quanto ao teor de umidade e proteína bruta.

4.2.2.3.1. Teor de umidade

O teor de umidade dos agentes aerantes foi determinado, de acordo com as normas da A.O.A.C. (1997), pela diferença de massa (medida em balança analítica) entre as amostras secas em estufa a 105°C, até massa constante, e a massa original da amostra, e calculado pela fórmula:

$$\% \text{ de umidade} = [(massa \text{ da amostra} - massa \text{ da amostra seca})/massa \text{ da amostra}] \times 100$$

4.2.2.3.2. Teor de proteína bruta

O teor de nitrogênio das amostras foi determinado pelo método semi-micro Kjeldahl (A.O.A.C., 1997). Os equipamentos usados foram: balança analítica, bloco digestor e destilador de nitrogênio. O teor de proteína bruta foi calculado multiplicando-se o teor de nitrogênio pelo fator 5,55, para as amostras de gelatina, e 6,38, para as amostras de concentrado protéico de soro e caseinato de sódio.

Os xaropes de sacarose com agente aerante foram analisados quanto ao teor de sólidos solúveis totais, pH e teor de acidez total titulável.

4.2.2.3.3. Teor de sólidos solúveis totais

A determinação do teor de sólidos solúveis totais foi feita por leitura direta em refratômetro. Os resultados foram expressos em porcentagem.

4.2.2.3.4. pH

A determinação do pH foi realizada em uma massa conhecida de amostra (medida em balança semi-analítica), diluída em água destilada, por medida direta em potenciômetro.

4.2.2.3.5. Teor de acidez total titulável

A acidez total titulável foi determinada segundo as normas da A.O.A.C. (1997), por titulação de uma massa conhecida de amostra (medida em balança semi-analítica), diluída em água destilada, com solução de hidróxido de sódio 0,01 N, até pH 8,1, e calculada pela fórmula:

$$\% \text{ de acidez total titulável} = [(\text{volume de NaOH} \times \text{N do NaOH}) / \text{massa da amostra}] \times 100$$

Os resultados foram expressos como porcentagem de ácido cítrico.

Durante o processamento das espumas, foram realizadas várias medidas físicas, como viscosidade e densidade aparente do xarope de sacarose com agente aerante, densidade da espuma e *overrun*.

4.2.2.3.6. Viscosidade aparente

A viscosidade aparente dos xaropes foi determinada em viscosímetro rotacional Brookfield LVT, utilizando spindle 1, a 100 e 180 rpm, a 45°C.

4.2.2.3.7. Densidade aparente

A densidade aparente dos xaropes de sacarose com agente aerante (a 45°C) e das espumas formadas com o batimento destes xaropes foi determinada pela relação

entre uma determinada massa de xarope ou espuma, medida em balança semi-analítica, e seu volume, medido em proveta graduada.

4.2.2.3.8. Overrun

O *overrun* das espumas foi determinado pela relação entre o volume do xarope de sacarose com agente aerante e o volume da espuma formada com o batimento deste xarope, segundo a fórmula:

$$\% \text{ overrun da espuma} = [(\text{vol espuma} - \text{vol xarope}) / \text{vol xarope}] \times 100$$

Todas as análises físicas, físico-químicas e químicas foram realizadas em triplicata.

4.2.2.4. Análise estatística

As médias dos resultados de densidade e *overrun* das espumas foram submetidas a uma análise de regressão, calculando-se, inicialmente, uma equação polinomial quadrática, testando-se sua falta de ajuste e avaliando-se a significância de cada parâmetro. Para os tratamentos que apresentaram bons coeficientes de regressão, foram ajustados modelos preditivos considerando-se apenas os parâmetros significativos ($p < 0,05$) e foram traçados gráficos de Superfície de Resposta. Para este estudo utilizou-se o programa Statistica.

Para os demais resultados, foram realizadas análises de variância e testes de médias (Tukey) (Gomes, 1990), utilizando-se o pacote estatístico SAS.

4.2.3. Otimização das formulações de mousse através de análises sensoriais e instrumentais de textura

4.2.3.1. Formulações e fluxogramas de processamento

A formulação básica de mousse de maracujá, à qual adicionou-se diferentes tipos e concentrações de agentes aerantes e água, segundo o delineamento apresentado no item 4.2.1, e o fluxograma de processamento usados nesta fase foram os descritos na primeira fase experimental, item 4.1.1. (Tabela 10 e Figura 3, respectivamente).

4.2.3.2. Análises físicas, físico-químicas e químicas

O leite condensado comercial e o suco de maracujá integral pasteurizado, assim como os cremes (misturas de leite condensado, suco de maracujá e água potável) e as mousses dos diferentes tratamentos foram analisados quanto ao teor de sólidos solúveis totais, pH e teor de acidez total titulável, segundo a metodologia descrita anteriormente (ítems 4.2.2.3.3, 4.2.2.3.4 e 4.2.2.3.5, respectivamente).

O leite condensado e as mousses dos tratamentos centrais e axiais do delineamento dos três diferentes agentes aerantes foram também analisados quanto à sua composição centesimal. Foram realizadas determinações dos teores de umidade, proteína bruta, segundo as metodologias descritas nos ítems 4.2.2.3.1 e 4.2.2.3.2, respectivamente, carboidratos, gorduras e cinzas.

4.2.3.2.1. Teor de gorduras

O teor de gorduras foi determinado pelo método gravimétrico de Bligh-Dyer (BLIGH & DYER, 1959), pelo qual uma massa conhecida de amostra, pesada em balança analítica, é submetida a sucessivas extrações com solventes (metanol e clorofórmio), sob agitação, centrifugada, a fase contendo gordura é separada, desumidificada com sulfato de sódio anídrico e filtrada. Uma alíquota do filtrado é retirada, o solvente residual

evaporado e a gordura resultante, seca em estufa a 100°C, é pesada. O cálculo da porcentagem de gorduras é feito segundo a fórmula:

$$\% \text{ gorduras} = [(\text{peso da gordura seca} \times 4^*) / \text{peso da amostra}] \times 100$$

*: a multiplicação por 4 está relacionada às diluições da amostra em solventes e à alíquota retirada da amostra após a etapa de filtração.

4.2.3.2.2. Teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado por carbonização de uma massa conhecida de amostra, pesada em balança analítica, seguida por calcinação em forno mufla (Mufla ArtLab) a 540°C até peso constante (A.O.A.C., 1997) e nova pesagem, e calculado pela fórmula:

$$\% \text{ de cinzas} = (\text{peso da amostra calcinada} / \text{peso da amostra}) \times 100$$

4.2.3.2.3. Teor de carboidratos

O teor de carboidratos das amostras foi calculado por diferença, segundo a fórmula:

$$\% \text{ de carboidratos} = 100 - \% \text{ de umidade} - \% \text{ de proteína bruta} - \% \text{ de gorduras} - \% \text{ de cinzas}$$

4.2.3.2.4. Densidade aparente e *overrun*

Durante o processamento, foram realizadas medidas de densidade aparente e *overrun* das mousses. A densidade aparente das mousses foi determinada pela razão massa/ volume. A porcentagem de *overrun* foi calculada subtraindo-se o volume inicial (soma dos volumes do creme e do xarope de sacarose com agente aerante, antes do

batimento) do volume final da mousse, dividindo-se esta diferença pelo volume inicial e multiplicando-se por 100.

4.2.3.2.5. Pesagem do produto final

Após o processamento, as amostras de mousse, envasadas em copos de 70 mL de volume, foram pesadas em balança semi-analítica, descartando-se aquelas que representavam os extremos mínimos e máximos de massa, visando a uniformidade do lote. Amostras de peso equivalente apresentavam grau de aeração e densidade também equivalentes.

Todas as análises físicas, físico-químicas e químicas foram realizadas em triplicata.

4.2.3.3. Análise sensorial

Os testes sensoriais foram realizados no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Tecnologia de Alimentos da FEA/Unicamp, cujas instalações incluem cabines individuais, controle de iluminação e um refrigerador para a manutenção das amostras a uma temperatura adequada para o consumo do produto (12°C). Os provadores foram recrutados, em função do hábito de consumo do produto, entre alunos de graduação e pós-graduação, funcionários e professores da FEA.

As análises realizadas nesta fase experimental consistiram em testes de consumidor. Amostras de mousse de maracujá dos 11 tratamentos do delineamento completo de cada agente aerante foram avaliadas por 22 consumidores, em duas sessões de análise. A ordem de avaliação das amostras para cada provador foi completamente balanceada (MACFIE *et al.*, 1989). Cada amostra foi apresentada separadamente. Os testes foram realizados sob luz branca, sendo as amostras servidas em copos plásticos rígidos transparentes de 70 mL de volume, cheios até a borda, acompanhados de colheres de sobremesa plásticas, com o produto à temperatura de 12°C. As fichas de avaliação eram compostas por escalas hedônicas estruturadas de 9

pontos (1 = desgostei muitíssimo; 9 = gostei muitíssimo), para a avaliação dos atributos aparência, aceitação global, aroma, sabor e textura, e por escalas do ideal estruturadas de 9 pontos (5 = ideal), para a avaliação dos atributos cor, doçura, acidez e firmeza (Figura 5).

4.2.3.4. Análise instrumental de textura

O perfil de textura das amostras de mousse foi obtido utilizando-se um texturômetro TA-XT2 (Stable Micro Systems). O texturômetro consiste em um sistema hidráulico que movimenta um pistão, a velocidades determinadas, conectado a um dispositivo que penetra e é removido da amostra (corpo de prova). Este aparelho é acoplado a um microcomputador com um software específico, que registra graficamente a resistência oferecida pela amostra durante a penetração e a remoção do corpo de prova, em função do tempo, e calcula diversos atributos de textura (como dureza, fraturabilidade, adesividade, elasticidade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade), de acordo com os parâmetros fornecidos pelo gráfico força-distância.

As condições de teste para o produto mousse foram ajustadas avaliando-se diferentes combinações das condições velocidade pré-, durante e pós-penetração e distância de penetração, selecionando-se aquelas que resultaram nos valores de dureza mais altos, com coeficientes de variação inferiores a 10%.

As análises foram realizadas nas seguintes condições: corpo de prova cilíndrico de alumínio de 25 mm, calibração do corpo de prova a 45 mm, velocidade pré e pós teste de 1,0 mm/s, velocidade de penetração de 10,0 mm/s, penetração de 22,5 mm (equivalente à 50% da altura da amostra) , força aplicada de 5 g. As amostras foram analisadas acondicionadas em copos de 40 mm de diâmetro (na borda) e 40 mm de altura, à temperatura de 12°C.

Os testes de textura foram realizados com 12 repetições por tratamento.

Nome: _____ Data: ____/____/____ P: _____

1 – Você está recebendo uma amostra codificada de MOUSSE DE MARACUJÁ. Primeiramente, anote o código da amostra. Em seguida, avalie a amostra e indique na escala abaixo o quanto você gostou ou desgostou da mesma quanto à APARÊNCIA:

Amostra: _____

APARÊNCIA

- ☐ gostei extremamente
- ☐ gostei muito
- ☐ gostei moderadamente
- ☐ gostei ligeiramente
- ☐ nem gostei / nem desgostei
- ☐ desgostei ligeiramente
- ☐ desgostei moderadamente
- ☐ desgostei muito
- ☐ desgostei extremamente

2 - Avalie e indique na escala abaixo o quanto a cor desta amostra se aproxima do ideal:

COR

- ☐ extremamente + clara que o ideal
- ☐ muito + clara que o ideal
- ☐ moderadamente + clara que o ideal
- ☐ ligeiramente + clara que o ideal
- ☐ ideal
- ☐ ligeiramente – clara que o ideal
- ☐ moderadamente – clara que o ideal
- ☐ muito – clara que o ideal
- ☐ extremamente – clara que o ideal

3 - Prove a amostra e indique na escala abaixo o quanto você gostou ou desgostou da mesma quanto ao aspecto global:

ACEITAÇÃO GLOBAL

- ☐ gostei extremamente
- ☐ gostei muito
- ☐ gostei moderadamente
- ☐ gostei ligeiramente
- ☐ nem gostei / nem desgostei
- ☐ desgostei ligeiramente
- ☐ desgostei moderadamente
- ☐ desgostei muito
- ☐ desgostei extremamente

FIGURA 6. Ficha de análise sensorial

continua...

continuação

4 – Indique nas escalas abaixo o quanto você gostou ou desgostou da amostra quanto aos atributos:

AROMA	SABOR	TEXTURA
☐ gostei extremamente	☐ gostei extremamente	☐ gostei extremamente
☐ gostei muito	☐ gostei muito	☐ gostei muito
☐ gostei moderadamente	☐ gostei moderadamente	☐ gostei moderadamente
☐ gostei ligeiramente	☐ gostei ligeiramente	☐ gostei ligeiramente
☐ nem gostei / nem desgostei	☐ nem gostei / nem desgostei	☐ nem gostei / nem desgostei
☐ desgostei ligeiramente	☐ desgostei ligeiramente	☐ desgostei ligeiramente
☐ desgostei moderadamente	☐ desgostei moderadamente	☐ desgostei moderadamente
☐ desgostei muito	☐ desgostei muito	☐ desgostei muito
☐ desgostei extremamente	☐ desgostei extremamente	☐ desgostei extremamente

5 - Avalie o quanto esta amostra se aproxima do ideal quanto à doçura (sabor doce), acidez (sabor ácido ou azedo) e firmeza (textura firme), indicando nas escalas abaixo:

DOÇURA	ACIDEZ
☐ extremamente + doce que o ideal	☐ extremamente + ácido que o ideal
☐ muito + doce que o ideal	☐ muito + ácido que o ideal
☐ moderadamente + doce que o ideal	☐ moderadamente + ácido que o ideal
☐ ligeiramente + doce que o ideal	☐ ligeiramente + ácido que o ideal
☐ ideal	☐ ideal
☐ ligeiramente – doce que o ideal	☐ ligeiramente – ácido que o ideal
☐ moderadamente – doce que o ideal	☐ moderadamente – ácido que o ideal
☐ muito – doce que o ideal	☐ muito – ácido que o ideal
☐ extremamente – doce que o ideal	☐ extremamente – ácido que o ideal

FIRMEZA

- ☐ extremamente + firme que o ideal
- ☐ muito + firme que o ideal
- ☐ moderadamente + firme que o ideal
- ☐ ligeiramente + firme que o ideal
- ☐ ideal
- ☐ ligeiramente – firme que o ideal
- ☐ moderadamente – firme que o ideal
- ☐ muito – firme que o ideal
- ☐ extremamente – firme que o ideal

Observações: _____

FIGURA 6. Ficha de análise sensorial.

4.2.3.5. Análise estatística

Os resultados das análises físicas, físico-químicas, químicas, sensoriais e instrumentais de textura foram submetidos a análises de variância e testes de médias (Tukey).

As médias dos resultados das análises sensoriais para os atributos aparência, aceitação global, aroma, sabor e textura e das análises de textura para os atributos dureza, fraturabilidade, adesividade, elasticidade, coesividade, gomosidade, mastigabilidade foram submetidas a uma análise de regressão. Calculou-se uma equação polinomial quadrática e testou-se sua falta de ajuste e a significância de cada parâmetro. Para os tratamentos e atributos que apresentaram bons coeficientes de regressão, foram ajustados modelos preditivos, considerando-se apenas os parâmetros significativos ($p < 0,05$), e foram gráficos de Superfície de Resposta.

4.3. Terceira Fase Experimental: estabilidade das mousses dos tratamentos ótimos

4.3.1. Delineamento experimental

Dos 33 tratamentos avaliados na fase de otimização de formulações, selecionou-se 3 tratamentos (um de cada tipo de agente aerante: gelatina de 200 Bloom, concentrado protéico de soro e caseinato de sódio) das regiões ótimas das superfícies de resposta, considerando-se os resultados das análises sensoriais dos atributos textura e aceitação global.

Os tratamentos selecionados foram avaliados quanto à estabilidade, armazenados resfriados, a 7°C, por 1, 4 e 7 dias e congelados, a -20°C, por 1 e 15 dias. O delineamento experimental adotado foi, portanto, o split-plot, considerando-se três tratamentos (sendo cada tratamento um tipo de agente aerante, na concentração e tempo de batimento definidos pelo estudo de otimização de formulações) e dois sub-tratamentos por tratamento (condições de armazenamento: por refrigeração ou congelamento).

4.3.2. Formulações e fluxograma de processamento

As formulações adotadas, para cada tipo de agente aerante, corresponderam à formulação básica, apresentada na Tabela 10, e o fluxograma de processamento apresentado na Figura 3, empregando as concentrações de agente aerante e tempos de batimento definidos pelo estudo de otimização de formulações.

4.3.3. Análises físico-químicas e químicas

As mousses dos diferentes tratamentos foram analisadas quanto ao pH e teor de acidez total titulável com 1 e 7 dias de armazenamento refrigerado e com 1 e 15 dias de armazenamento congelado, segundo o método descrito nos itens 4.2.2.3.4 e 4.2.2.3.5, respectivamente.

4.3.4. Análises microbiológicas

As amostras de mousse dos tratamentos refrigerados, com 1, 4 e 7 dias de armazenamento, e congelados, com 1 e 15 dias de armazenamento, foram analisadas quanto à contagem de coliformes totais e fecais, pelo método do número mais provável – NMP (ABNT, 1991), e quanto à contagem total de bolores e leveduras, por plaqueamento em superfície (ABNT, 1987).

4.3.5. Análise sensorial

As amostras de mousse foram avaliadas em testes de consumidor com 1, 4 e 7 dias de armazenamento, para os tratamentos refrigerados, e com 1 e 15 dias de armazenamento, para os tratamentos congelados. Em cada sessão de análise sensorial era provada apenas uma amostra, por 27 provadores. As condições de teste foram as mesmas descritas para a segunda fase experimental (item 4.2.3.3.). As fichas de avaliação foram iguais à apresentada na Figura 5, acrescida de três outros atributos,

aeração e cremosidade, avaliados por escala do ideal, e arenosidade, avaliados por uma questão:

“Na amostra avaliada, percebe-se sensação de arenosidade? ☐ sim ou ☐ não”

Os resultados referentes ao atributo arenosidade foram apresentados como porcentagem dos provadores que perceberam esta característica na amostra.

4.3.6. Análise instrumental de textura

As análises instrumentais de textura, realizadas com 12 repetições, foram conduzidas segundo o procedimento descrito no item 4.2.3.4.

4.3.7. Análise de estabilidade física

A estabilidade física das mousses de maracujá foi avaliada medindo-se o volume de líquido drenado e a diminuição do volume total (equivalente ao volume de ar “desincorporado”) em provetas de 100 mL, cheias com o produto até este volume, cobertas com filme plástico duplo, armazenadas refrigeradas por 18, 24, 48, 72, 96 e 168 horas (o volume empregado foi próximo ao dos copos nos quais se acondicionou a amostra para os testes sensoriais e de textura, e as condições de temperatura e umidade nas quais as amostras foram armazenadas também equivaleram às adotadas para aqueles testes). Os resultados foram expressos como porcentagem de líquido drenado e porcentagem de ar “desincorporado”. Este teste foi realizado com 10 replicatas por tratamento.

4.3.8. Análise estatística

Os resultados das análises físico-químicas, químicas, sensoriais, de textura e de estabilidade física foram submetidos a análises de variância e testes de médias (Tukey).

5.1. Primeira fase experimental: desenvolvimento de formulações

5.1.1. Desenvolvimento da formulação básica de mousse de maracujá

Diversas “receitas caseiras” de mousse de maracujá foram avaliadas em testes sensoriais de bancada. Estas formulações dividiam-se em três grupos principais: a. aquelas que empregavam um componente lipídico, como creme de leite; b. aquelas que empregavam algum tipo de agente aerante de natureza protéica, como clara de ovo e gelatina; e c. aquelas que empregavam mais de um tipo de agente aerante.

Embora alguns componentes lipídicos, inclusive o creme de leite, tenham propriedades aerantes, nas formulações testadas, somado a um ingrediente denso, como o leite condensado, e sendo todos os ingredientes batidos conjuntamente e em liquidificador, equipamento que não proporciona uma boa incorporação de ar, o produto resultante apresentou-se como um creme denso, pouco aerado. Alguns consumidores preferem este tipo de produto, conforme relatado por AULER *et al.* (2000). Estes autores testaram o emprego de diferentes concentrações de agente aerante (concentrado protéico de soro) em formulações de mousse compostas por leite condensado, suco de maracujá e creme de leite (na proporção 1:1:1, em volume), e observaram a preferência do consumidor pelo produto com menor teor de agente aerante, mais firme (firmeza = 67,40 g) e menos aerado. Formulações comerciais de mousse de maracujá (em pó, para preparo doméstico), avaliadas no mesmo trabalho, resultaram em um produto ainda mais firme (firmeza = 154,21 e 186,84 g, para dois produtos diferentes), embora compostos por agentes aerantes (protéicos, como gelatina e proteína láctea, e lipídicos, como gordura vegetal, mono e diglicerídios), devido à grande quantidade de gomas e outros agentes espessantes presentes. Outros autores, como STANLEY *et al.* (1996) e MLEKO (1997), observaram o aumento de firmeza em produtos adicionados de espessantes.

Os agentes aerantes de natureza protéica empregados em “receitas caseiras” são a clara de ovo e a gelatina (em folha ou em pó). Nas receitas em que se usa clara de ovo, esta é batida separadamente, em batedeira, e misturada aos demais ingredientes (leite

condensado e suco de maracujá) previamente batidos em liquidificador. As mousses assim produzidas apresentaram textura aerada, mas pouco estável (a drenagem de líquidos é acentuada). Este resultado está de acordo com o encontrado por AULER *et al.* (2000), que obtiveram produtos com boa aeração, mas observaram a ocorrência de drenagem de líquidos em mousses formulados com clara de ovo, armazenados refrigerados por 24 horas. Os autores justificam esta instabilidade pelo fato da formulação (composta por leite condensado, suco de maracujá e creme de leite) não conter agentes estabilizantes e de não ter sido aplicado um tratamento térmico ao sistema, que promoveria a formação de um gel protéico capaz de manter a estrutura aerada.

Nas formulações que empregam gelatina como agente aerante, este componente é previamente dissolvido em água quente, misturado aos demais ingredientes (leite condensado e suco de maracujá) e a mistura é batida em liquidificador. Preparadas desta forma e com o uso de concentrações adequadas de gelatina, as mousses de maracujá apresentam textura firme, aerada e estável.

Após uma série de testes, selecionou-se uma “receita” que utilizava gelatina como agente aerante (1,0 %), composta por leite condensado comercial (42,0 %), suco de maracujá integral pasteurizado (25,0 %), água potável (22,0 %) e açúcar refinado (10,0 %), preparada misturando-se o creme (mistura de leite condensado, suco de maracujá e parte da água) e o xarope (mistura de parte da água, açúcar e gelatina), previamente submetido a um tratamento térmico, batidos, separadamente, em batedeira planetária. Esta formulação produz uma mousse com boas características de sabor (balanço adequado entre a doçura, conferida pelo leite condensado, e a acidez, conferida pelo suco de maracujá) e textura (firme e aerada). O batimento do xarope de sacarose com o agente aerante separadamente e em batedeira planetária promove a formação de um volume grande de espuma, sendo um sistema isento de fatores e componentes interferentes (como a elevada acidez do suco de maracujá, a alta densidade do leite condensado e a gordura nele presente). Esta “receita” e esta “forma de preparo” originaram a formulação básica (Tabela 10) e o fluxograma de processamento padrão (Figura 3), adotados para os testes com ingredientes substitutivos, diferentes agentes aerantes/gelificantes protéicos e condições de processo e armazenamento.

5.1.2. Testes com diferentes agentes aerantes/gelificantes, ingredientes substitutivos e condições de processo e armazenamento

Nos testes com diferentes gomas, utilizou-se outra formulação, composta por leite condensado comercial (47,0 %), suco de maracujá integral pasteurizado (40,0%), água potável (de 11,5 a 12,5 %) e goma (de 0,5 a 1,5 %), preparada por batimento conjunto de todos os ingredientes em liquidificador (à velocidade máxima, por 5 minutos). As mousses produzidas a partir de formulações com carragena, goma locusta ou goma xantana, na concentração de 0,5 %, apresentaram consistência pouco firme e as produzidas com goma guar, na concentração de 0,5 %, ou carragena, na concentração de 1,0 %, apresentaram consistência firme. As mousses dos tratamentos com 1,0 % de goma guar ou 1,5 % de carragena, carragena iota ou goma xantana apresentaram consistência muito firme. A mousse produzida com 1,5 % de goma guar apresentou, além de elevada consistência, alta adesividade. Todos estes tratamentos apresentaram textura cremosa e não aerada. Já as mousses produzidas com goma locusta e goma xantana, na concentração de 1,0 % e 1,5 %, apresentaram textura de firme a muito firme e pouco aerada.

Os demais testes utilizaram a formulação básica (Tabela 10) e o fluxograma de processamento padrão (Figura 3). Nos testes com ingredientes alternativos, o leite condensado comercial foi substituído por uma mistura de açúcar refinado, leite em pó integral e água potável, em duas diferentes proporções: 2:1:1 e 2:2:1. A mistura que mais se assemelhou ao leite condensado comercial foi a segunda. Quando os ingredientes desta formulação (açúcar, leite em pó, água, suco de maracujá e gelatina) foram batidos conjuntamente em liquidificador, o produto resultante apresentou alteração de sabor e textura arenosa (causada pela dissolução incompleta do leite em pó). Quando o açúcar, o leite em pó e parte da água foram batidos separadamente, em liquidificador, adicionados de suco de maracujá, a seguir batidos em batedeira planetária e então misturados ao xarope com agente aerante, previamente batido em batedeira, obteve-se uma mousse com boas características de sabor, textura aerada e não-arenosa.

As mousses produzidas com suco de maracujá reconstituído, em substituição ao suco de maracujá integral pasteurizado, apresentaram sabor amargo. A substituição por

suco de maracujá concentrado congelado resultou em um produto com sabor definido pela equipe sensorial como “artificial”.

Vários tipos de agentes aerantes/gelificantes protéicos, em diferentes concentrações e submetidos a diferentes tratamentos térmicos e mecânicos, foram estudados. A clara de ovo, bem como as gelatinas em folha e em pó, foram testadas ainda na fase de avaliação de “receitas caseiras” de mousse de maracujá, partindo-se da formulação e do fluxograma de processamento adotados nos testes com gomas, descritos acima. As mousses obtidas utilizando-se clara de ovo (batida separadamente em batedeira, misturada aos demais ingredientes, batidos conjuntamente em liquidificador) apresentaram textura aerada, mas instável, conforme mencionado anteriormente.

As mousses formuladas com gelatina em folha ou em pó, na concentração de 1,0% (dissolvida em água quente, adicionada aos demais ingredientes, batidos conjuntamente em liquidificador), apresentaram textura aerada, firme e estável (quanto à drenagem de líquidos). Estes dois tipos de gelatina, comerciais, não dispunham de informações técnicas, como força do gel e granulometria, e por este motivo não foram usados nas demais fases experimentais.

Com o intuito de se dispensar tratamentos térmicos no processamento das mousses de maracujá, testou-se uma gelatina adicionada de amido, solúvel em água fria. No preparo das mousses, este produto era misturado ao açúcar, dissolvido em água fria, batido em batedeira planetária, e então misturado ao creme batido. O tratamento com 1,0 % de gelatina com amido e batimento por 5 min produziu uma espuma pouco firme e uma mousse de estrutura aerada e de gel fraco; o tratamento com batimento por 10 min produziu uma espuma volumosa, firme e uma mousse também firme e muito aerada. Os tratamentos com 1,5 % de gelatina com amido e tempos de batimento de 2 min, 2 min e 30 s e 5 min resultaram em espumas e mousses pouco firmes. Os tratamentos com batimento por 6 min e 30 s, 8 min e 10 min produziram volumes maiores de espuma, de consistência firme e, conseqüentemente, volumes maiores de mousse, de textura firme e aerada (tanto o volume produzido de espuma e mousse quanto sua firmeza foram diretamente relacionados ao tempo de batimento).

Nos tratamentos que empregaram concentrações maiores de gelatina com amido, 2,0 e 4,0 %, a mistura deste agente aerante com açúcar e água apresentou consistência pastosa, o batimento desta mistura, por 2 min, 5 min ou 10 min, promoveu um baixo grau de aeração, formando uma espuma excessivamente firme e uma mousse, embora aerada, também excessivamente firme. Todos os tratamentos com concentrações de gelatina com amido iguais ou superiores a 1,5 % resultaram em produtos com sabor alterado e textura grosseira, devido à presença de partículas precipitadas. A alteração de sabor, a firmeza excessiva e a precipitação de partículas estão relacionadas com o teor de amido, adicionado à gelatina, no meio ácido mousse. Este tipo de gelatina não foi usado nas fases experimentais seguintes devido à estreita faixa de concentração deste produto possível de ser usada na elaboração de mousses.

A gelatina de 200 Bloom foi testada na concentração de 0,50 % e a tempos de batimento de 5 min, 6 min e 30 s, 7 min e 30 s, 10 min e 15 min. Os tratamentos com batimento por 5 min e 6 min e 30 s produziram uma espuma pouco firme e uma mousse aerada e também pouco firme. O tratamento com batimento por 7 min e 30 s resultou em uma espuma de firmeza intermediária e os com batimento por 10 min e 15min resultaram em espumas muito firmes e mousses com graus de aeração e firmeza avaliados nos testes sensoriais como ideais. A formulação com 0,75 % de gelatina, batida por 5 min, produziu uma espuma de firmeza intermediária e uma mousse firme; a formulação com 1,00 % de gelatina, batida por 5 min, produziu uma espuma muito firme e uma mousse de estrutura muito aerada, mas estabilizada por um gel excessivamente firme. As mousses das formulações com gelatina apresentaram bolhas de diâmetro relativamente grande.

O tratamento com gelatina de 260 Bloom, na concentração de 1,0 %, com batimento por 5 min, resultou em espumas e mousses excessivamente firmes; o tratamento com batimento por 10 min produziu uma espuma "sólida", imiscível.

Formulações contendo concentrado protéico de soro, na concentração de 1,0%, misturado aos outros ingredientes da formulação (leite condensado, suco de maracujá e água), batido em liquidificador e submetido a tratamentos térmicos resultaram em produtos com sabor alterado e textura não-aerada, de gel firme (a 70°C/15 min) ou precipitado grosseiro (a 82°C/15 min). O batimento dos ingredientes conjuntamente interfere na formação de espuma; o baixo pH da mistura desestabiliza as proteínas do

soro e favorece a formação de géis com a aplicação de tratamentos térmicos moderados; com a aplicação de tratamentos térmicos mais intensos as reações ocorrem de forma abrupta e desordenada, resultando na formação de precipitados.

O xarope de sacarose com concentrado protéico de soro, na concentração de 1,0 %, não submetido a tratamento térmico, batido por 15 min, formou um pequeno volume de espuma, restando uma fase líquida; submetido a um aquecimento a 45°C, batido por 5 min ou 10 min, formou um grande volume de espuma e resultou em uma mousse aerada, de baixa consistência, extremamente instável. Aplicando-se um tratamento térmico a 100°C/5 min, com batimento por 5 min e 10 min, obteve-se uma espuma pouco densa e pouco firme e uma mousse aerada, pouco consistente, sem estrutura de gel, pouco estável. Aplicando-se tratamentos térmicos a 100°C por 10 min e 15 min, sob agitação, observou-se a formação de precipitados; as mousses produzidas com estes xaropes, batidos por 5 min, apresentaram sabor “de cozido” e textura cremosa.

Formulações contendo 2,0 % de concentrado protéico de soro, aquecidas a 45°C e batidas por 5 min, 7 min e 30 s e 10 min, produziram espumas de firmes a muito firmes, mas mousses instáveis. Aquecidas até que se atingisse a temperatura de 100°C, ou mantidas nesta temperatura por 3 min e 5 min, e batidas por 5 min, 7 min e 30 s e 10 min, produziram volumes crescentes de espuma, de consistência de pouco a muito firme, e mousses aeradas, pouco densas, com estrutura de gel pouco firme, mas estáveis. Formulações contendo 3,0 % de concentrado protéico de soro, aquecidas até a temperatura de 100°C ou mantidas a 100°C por 5 min, produziram volumes reduzidos de espuma, de consistência firme, mas mousses aeradas, pouco densas, pouco firmes e estáveis. As formulações contendo 4,0 e 5,0 % de concentrado protéico de soro, submetidas a um tratamento térmico a 90°C/5 min, resultaram em soluções extremamente viscosas, que apresentaram baixa taxa de incorporação de ar com o batimento por 10 min. As mousses produzidas com concentrado protéico de soro apresentaram bolhas de pequeno diâmetro, o que conferiu ao produto uma sensação de “cremosidade”. A aplicação de tratamentos térmicos tem a função de desdobrar a estrutura globular das proteínas do soro, expondo grupos funcionais.

O caseinato de sódio foi testado em formulações de mousse nas concentrações de 1,0, 2,0, 3,0 e 5,0 %. O tratamento térmico aplicado a estes tratamentos, com

aquecimento a 80°C, não foi alterado, e teve unicamente o objetivo de favorecer a dispersão do caseinato de sódio (uma vez que as moléculas de caseína possuem estrutura aberta). Xaropes de sacarose com caseinato de sódio, na concentração de 1,0 %, foram batidos por 5 min, 7 min e 30 s, 10 min, 12 min e 30 s e 15 min, produzindo volumes crescentes de espuma, de consistência de pouco a muito firme. As mousses dos tratamentos com 5 min de batimento apresentaram textura pouco aerada e muito pouco firme; as mousses dos tratamentos com batimento por 10 min ou mais apresentaram textura aerada e pouco firme.

Os tratamentos com caseinato de sódio na concentração de 2,0 % foram batidos por 2 min e 30 s, 5 min, 7 min e 30 s e 10 min, formando espumas pouco firmes, com 2 min e 30 s de batimento, e muito firmes, com 7 min e 30 s de batimento ou mais. As mousses produzidas com esta concentração de caseinato de sódio apresentaram textura aerada, de pouco firme a firme. Na concentração de 3,0 % de caseinato de sódio, os xaropes foram batidos por 2 min e 30 s, 3 min e 30 s e 5 min, produzindo espumas de consistência firme e cremosa e mousses aeradas e firmes. Com 10 min de batimento, apresentaram consistência excessivamente firme. Na concentração de 5,0 %, os xaropes de sacarose com caseinato de sódio formaram uma dispersão altamente viscosa, não aerável. Todos os tratamentos à base de caseinato de sódio foram pouco estáveis à drenagem de líquidos. Ao ser misturada com o creme batido, de baixo pH, a caseína da espuma precipita, produzindo uma mousse não homogênea e causando a sensação de falta de cremosidade e, a concentrações iguais ou superiores a 2,0 %, de arenosidade no produto.

Testou-se, ainda, o emprego de isolado protéico de soja como agente aerante. As soluções de sacarose com isolado protéico de soja não foram submetidas a tratamentos térmicos devido ao fato deste ingrediente ser altamente solúvel em água fria e das proteínas da soja serem muito resistentes ao calor. O isolado protéico de soja foi avaliado em tratamentos com concentrações de 1,0, 2,0, 3,0, 5,0 e 7,0 %. Os tratamentos com 1,0 % de isolado protéico de soja e tempos de batimento de 5 min, 7 min e 30 s, 10 min e 12 min e 30 s produziram volumes reduzidos de espuma, de consistência pouco firme, e mousses aeradas, pouco firmes, mas estáveis. Os tratamentos batidos por 15 min, 17 min e 30 s, 20 min e 22 min e 30 s produziram volumes maiores de espuma, de consistência muito firme, e mousses aeradas, pouco firmes e estáveis.

Os tratamentos com 2,0 e 3,0 % de isolado protéico de soja foram batidos por 2 min e 30 s, 5 min, 7 min e 30 s, e 10 min, produzindo volumes crescentes de espuma, de consistência de pouco a muito firme, e mousses de textura aerada e pouco firme. Os tratamentos com 5,0 % de isolado protéico de soja, batidos por 2 min e 30 s e 5 min, formaram espumas densas, “cremosas”, firmes; os tratamentos batidos por 7 min e 30 s e 10 min formaram volumes reduzidos de espuma, densa, muito firme, e mousses de textura aerada e “cremosa”. Com 7,0 % de isolado protéico de soja e tempos de batimento de 2 min e 30 s, 5 min, 7 min e 30 s e 10 min, formaram espumas extremamente consistentes e mousses aeradas e “cremosas”. As mousses dos tratamentos com concentrações iguais ou superiores a 2,0 % de isolado protéico de soja apresentaram alteração de sabor, com amargor acentuado.

5.2. Segunda fase experimental: otimização de formulações

Com base nos testes realizados na primeira fase experimental, foram selecionados três diferentes tipos de agente aerante (gelatina de 200 Bloom, concentrado protéico de soro e caseinato de sódio) e definidos as variáveis (concentração de agente aerante e tempo de batimento do xarope de sacarose com agente aerante) e os níveis das variáveis a serem estudados nas fases seguintes. A gelatina de 200 Bloom, o concentrado protéico de soro e o caseinato de sódio, a concentrações e condições de processamento (tratamento térmico e mecânico) específicas, produziram mousses com boas características de sabor e textura. O grau de aeração, o tamanho das bolhas, a firmeza, outros atributos de textura (como elasticidade, “cremosidade” e “arenosidade”) e a estabilidade das mousses diferiram muito em função do agente aerante empregado. Os estudos seguintes procuraram demonstrar e explicar estas diferenças.

5.2.1. Estudo das espumas

5.2.1.1. Composição dos agentes aerantes

Todos os agentes aerantes usados nas formulações de mousse são ingredientes protéicos. Além da proteína, estes ingredientes contêm baixo teor de umidade e

componentes residuais. No caso da gelatina, estes resíduos correspondem, principalmente, a sais; no concentrado protéico de soro e no caseinato de sódio correspondem a gordura (cerca de 6,5 % e 1,2 %, respectivamente), lactose (cerca de 5,6 % e 0,3 %, respectivamente) e sais (cerca de 3,8 % e 3,5 %, respectivamente). Dependendo do sistema ao qual estes ingredientes são adicionados, estes resíduos podem interferir em sua funcionalidade. A Tabela 14 apresenta os teores de umidade e proteína bruta destes agentes aerantes.

TABELA 14. Teores de umidade e proteína bruta (PB) dos agentes aerantes usados nas formulações de mousse: gelatina de 200 Bloom (G), concentrado protéico de soro (CPS) e caseinato de sódio (CS).

Componentes	Agentes Aerantes		
	G	CPS	CS
Umidade (%)	10,97	4,84	4,92
Proteína bruta (%)	85,29 ^a	77,23 ^b	88,70 ^b
Resíduos	3,74	17,93	6,38

^a: %N x 5,55

^b: %N x 6,38

5.2.1.2. pH, teor de sólidos solúveis totais, densidade e viscosidade dos xaropes de sacarose com agente aerante e overrun e densidade das espumas

Os valores de pH dos xaropes de sacarose com agente aerante variaram pouco dentro e entre tratamentos (gelatina, de 5,67 a 5,78; concentrado protéico de soro, de 6,44 a 6,52; e caseinato de sódio, de 6,66 a 6,68) (Tabela 15). Os tratamentos com gelatina apresentaram os menores valores de pH, enquanto os com concentrado protéico de soro e caseinato de sódio apresentaram valores próximos.

Os teores de sólidos solúveis totais variaram de 36,20 a 38,30 % para os xaropes com gelatina, de 38,20 a 43,80 % para os com concentrado protéico de soro e de 36,90 a 41,10 % para os com caseinato de sódio (Tabela 15). O teor de sólidos solúveis totais aumentou em função do aumento da concentração de agente aerante do xarope, entre xaropes preparados com o mesmo tipo de agente aerante e entre os preparados com

TABELA 15. Valores médios de pH, teor de sólidos solúveis totais (SST), densidade (D_x) e viscosidade (a 100 rpm, V_{100} , e a 180 rpm, V_{180}) dos xaropes de sacarose e agente aerante (AA, gelatina de 200 Bloom, G; concentrado protéico de soro, CPS; e caseinato de sódio, CS), *overrun* (OR) e densidade das espumas resultantes (D_e).

TRAT	AA (%)	t BAT	pH	SST (%)	D_x	V_{100}	V_{180}	OR (%)	D_e
Ga	0,25	7'30"	-	36,0	1,1674	20,00	27,70	407,5	0,2224
Gb	0,75	7'30"	-	37,7	1,1756	28,90	37,55	524,17	0,1804
Gc	0,25	12'30"	-	36,0	1,1616	20,10	27,70	410,00	0,2178
Gd	0,75	12'30"	-	37,6	1,1756	28,90	37,55	675,83	0,1438
Ge	0,50	10'	-	37,5	1,1692	23,80	32,10	590,00	0,1618
Gf	0,50	10'	-	37,0	1,1678	23,80	32,10	5587,5	0,1629
Gg	0,50	10'	-	37,0	1,1751	23,80	32,10	580,00	0,1646
Gh	0,15	10'	-	36,0	1,1664	18,40	25,90	393,75	0,2280
Gi	0,85	10'	-	38,0	1,1742	30,37	39,53	653,00	0,1494
Gj	0,50	6'30"	-	37,0	1,1771	23,80	32,10	520,00	0,1830
Gk	0,50	13'30"	-	38,1	1,1762	23,90	32,10	626,67	0,1534
G1	0,50	7'30"	5,75	36,2	1,1660	25,95	34,80	591,67	0,1630
G2	1,00	7'30"	5,74	38,3	1,1879	36,20	46,20	636,20	0,1532
G3	0,50	12'30"	5,76	36,2	1,1777	26,00	34,80	655,00	0,1492
G4	1,00	12'30"	5,78	38,3	1,1783	36,25	46,25	710,83	0,1394
G5	0,75	10'	5,77	37,0	1,1789	31,60	40,80	700,00	0,1411
G6	0,75	10'	5,77	37,0	1,1687	31,60	40,80	685,00	0,1422
G7	0,75	10'	5,77	37,0	1,1722	31,60	40,80	670,00	0,1457
G8	0,40	10'	5,67	36,5	1,1754	23,87	31,70	578,33	0,1659
G9	1,10	10'	5,73	38,2	1,1730	39,70	50,67	722,5	0,1394
G10	0,75	6'30"	5,74	36,5	1,1696	30,60	40,40	580,83	0,1657
G11	0,75	13'30"	5,72	36,5	1,1720	31,70	41,10	750,00	0,1310
CPS1	1,36	7'30"	-	38,5	1,1549	22,10	29,90	237,50	0,3294
CPS2	3,14	7'30"	6,44	42,5	1,1155	32,60	42,05	483,33	0,1874
CPS3	1,36	12'30"	-	39,0	1,1645	22,15	29,90	287,50	0,2830
CPS4	3,14	12'30"	6,48	42,6	1,1250	32,60	42,30	613,33	0,1496
CPS5	2,25	10'	6,50	41,0	1,1011	26,40	34,60	400,00	0,2105
CPS6	2,25	10'	6,50	41,0	1,1116	26,40	34,60	427,50	0,2004
CPS7	2,25	10'	6,50	41,0	1,1104	26,40	34,60	413,75	0,2054
CPS8	1,00	10'	-	38,2	1,1601	20,23	27,67	191,67	0,3804
CPS9	3,50	10'	-	43,8	1,1801	38,57	50,17	601,67	0,1590
CPS10	2,25	6'30"	6,48	41,5	1,1065	26,50	35,10	337,5	0,2443
CPS11	2,25	13'30"	6,52	41,0	1,1051	27,60	36,10	463,12	0,1854
CS1	1,00	7'30"	-	38,0	1,1572	24,60	32,65	458,33	0,1979
CS2	2,00	7'30"	-	40,5	1,1573	41,75	54,10	564,17	0,1660
CS3	1,00	12'30"	-	38,0	1,1552	24,65	32,80	529,17	0,1735
CS4	2,00	12'30"	-	40,5	1,1482	41,90	54,50	614,17	0,1528
CS5	1,50	10'	6,68	39,5	1,1036	30,80	39,60	563,75	0,1582
CS6	1,50	10'	6,68	39,5	1,1000	30,80	39,60	532,50	0,1663
CS7	1,50	10'	6,68	39,5	1,1018	30,80	39,60	547,50	0,1612
CS8	0,80	10'	-	36,9	1,1572	22,60	30,20	438,33	0,2038
CS9	2,20	10'	-	41,1	1,1582	46,40	-	584,17	0,1596
CS10	1,50	6'30"	6,66	40,0	1,0930	31,50	40,45	481,67	0,1803
CS11	1,50	13'30"	6,66	39,5	1,1068	31,90	41,30	590,00	0,1516

TRAT: tratamentos; t BAT: tempo de batimento do xarope.

diferentes agentes aerantes. Assim, os xaropes com gelatina, com menores concentrações deste agente aerante, apresentaram os menores teores de sólidos solúveis totais, seguidos, em ordem crescente, pelos com caseinato de sódio e concentrado protéico de soro.

A densidade dos xaropes dos diferentes tratamentos variou de 1,0930 a 1,1879 (Tabela 15). Não foi observada uma relação entre o teor de sólidos totais e a densidade do xarope, talvez pelo fato do método adotado para a medição da densidade não ser suficientemente preciso.

Os resultados de viscosidade, medida a 100 e 180 rpm, dos xaropes de sacarose com diferentes agentes aerantes, em diferentes concentrações, são apresentados na Tabela 15. A 100 rpm, os valores de viscosidade variaram de 18,40 a 39,70 cP para os tratamentos com gelatina (de 200 Bloom), de 20,23 a 38,57 cP para os tratamentos com concentrado protéico de soro e de 22,60 a 46,40 cP para os tratamentos com caseinato de sódio. A 180 rpm, os valores variaram de 25,90 a 50,67 cP para os xaropes com gelatina, de 27,67 a 50,17 cP para os xaropes com concentrado protéico de soro e de 30,20 a 54,50 cP para os xaropes com caseinato de sódio. Segundo Fennema (1985), soluções de proteínas do soro de leite bovino apresentam baixa viscosidade a pH neutro e quando não submetidas a tratamento térmico; se submetidas, podem apresentar maior viscosidade. Proteínas solúveis, com alta capacidade de absorção de água, como o caseinato de sódio e alguns tipos de proteínas da soja, podem desenvolver alta viscosidade.

Segundo Tiemstra (1964 a,b) e Johnston (1990), a viscosidade de um xarope é determinada por fatores como composição, concentração de sólidos, pH e temperatura. O aumento da temperatura de um xarope resulta na diminuição da sua viscosidade (Tiemstra, 1964a). No presente trabalho, as medidas de viscosidade foram feitas sempre à temperatura de 45°C, não sendo este, portanto, um fator interferente.

O aumento da concentração de sólidos de um xarope resulta no aumento da sua viscosidade, a uma determinada temperatura (Tiemstra, 1964 a, b). Este comportamento foi observado neste trabalho. A viscosidade dos xaropes, medida a 100 e 180 rpm, aumentou em função do aumento do teor de agente aerante, um componente protéico, e

do consequente aumento do teor de sólidos do tratamento (Figuras 7, 8 e 9). Johnston (1990), afirmou que a viscosidade de xaropes de açúcar com gelatina varia em função da concentração deste agente aerante. Segundo Fennema (1985), o aumento do coeficiente de viscosidade de alguns fluidos protéicos, como resultado do aumento da concentração de proteína, deve-se a interações proteína-proteína.

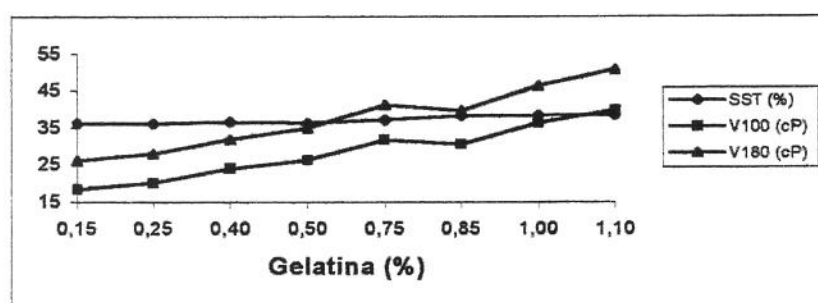


FIGURA 7. Teor de sólidos solúveis totais (SST) e viscosidade a 100 e 180 rpm (V100 e V180) dos xaropes de sacarose com diferentes concentrações de gelatina de 200 Bloom.

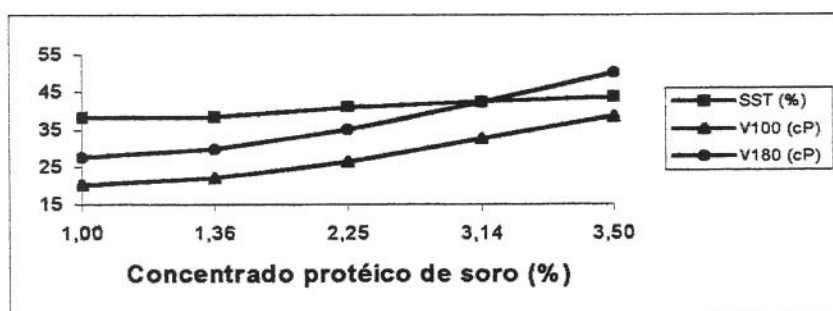


FIGURA 8. Teor de sólidos solúveis totais (SST) e viscosidade a 100 e 180 rpm (V100 e V180) dos xaropes de sacarose com diferentes concentrações de concentrado protéico de soro.

Os xaropes analisados eram compostos por diferentes tipos de agentes aerantes, em diferentes concentrações. Proteínas diferentes, ou a mesma proteína em diferentes concentrações, apresentam comportamentos reológicos distintos. O principal fator determinante do comportamento de viscosidade de fluidos protéicos é o diâmetro aparente das moléculas ou partículas dispersas. Este diâmetro depende de características intrínsecas da molécula protéica, de interações proteína-solvente e de interações proteína-proteína (Fennema, 1985). Observou-se, neste trabalho, que, nas faixas de concentração de agente aerante estudadas (de 0,15 a 1,10 % para os xaropes com gelatina; de 1,00 a 3,50 % para os xaropes com concentrado protéico de soro; de 0,80 a 2,20 % para os xaropes com caseinato de sódio), os xaropes com concentrado protéico de soro, apesar de conterem teores maiores de proteína, resultaram em xaropes menos viscosos; contrariamente, os xaropes com gelatina, contendo teores menores de proteína, apresentaram os maiores valores de viscosidade. Diferenças relacionadas ao diâmetro aparente destas moléculas protéicas em dispersão, discutido acima, explicam estes resultados.

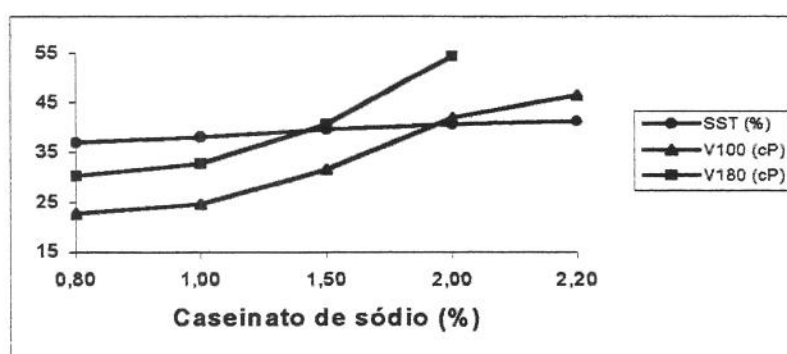


FIGURA 9. Teor de sólidos solúveis totais (SST) e viscosidade a 100 e 180 rpm (V100 e V180) dos xaropes de sacarose com diferentes concentrações de caseinato de sódio.

Para se obter xaropes com coeficientes de viscosidade equivalentes, por exemplo, por volta de 40,0 cP (medidos a 100 rpm), são necessárias concentrações próximas a 1,10 % para a gelatina, 2,00 % para o caseinato de sódio e 3,50 % para o concentrado protéico de soro. Visto de outra forma, a uma mesma concentração de proteína, por

exemplo 1,00 % (Figura 10), xaropes com gelatina são mais viscosos que os com caseinato de sódio, por sua vez mais viscosos que os com concentrado protéico de soro. A viscosidade, medida a 100 e 180 rpm, dos xaropes com concentrações inferiores ou iguais a 0,75 % de gelatina (0,40, 0,50, 0,75 %) é equivalente à dos xaropes com o dobro destas concentrações de caseinato de sódio (0,80, 1,00, 1,50 %, respectivamente); a concentrações iguais ou superiores a 1,00 % de gelatina (1,00 e 1,10 %) e 2,00 % de caseinato de sódio (2,00 e 2,20 %) esta equivalência deixa de ser válida, sendo os valores de viscosidade superiores para os xaropes com caseinato de sódio com o dobro da concentração dos de gelatina. Isto mostra que a relação entre concentração de proteína e coeficiente de viscosidade não é linear.

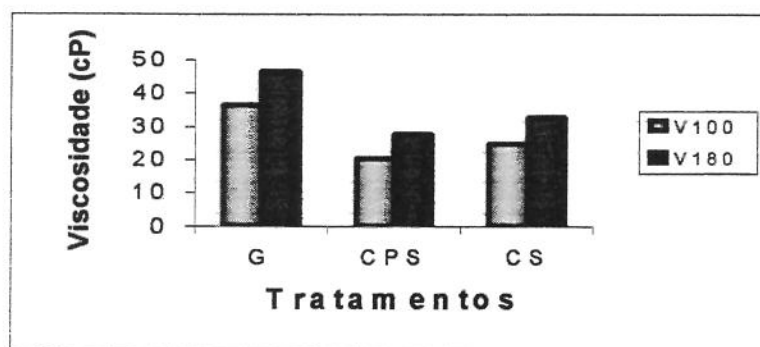


FIGURA 10. Viscosidade, medida a 100 rpm (V100) e 180 rpm (V180), dos xaropes de sacarose com diferentes agentes aerantes (gelatina de 200 Bloom, G; concentrado protéico de soro, CPS; e caseinato de sódio, CS), na concentração de 1,0 %.

Os coeficientes de viscosidade dos xaropes medidos a 100 rpm foram inferiores aos medidos a 180 rpm (a 45°C), o que caracteriza um comportamento dilatante. Em geral, soluções ou dispersões protéicas apresentam comportamento pseudoplástico, isto é, seu coeficiente de viscosidade diminui com o aumento da taxa de fluxo (TUNG, 1978; FENNEMA, 1985). Outras, como as de concentrado protéico de soro ou isolado protéico de soja, apresentam comportamento tixotrópico, uma vez que a diminuição da viscosidade aparente é reversível, após a interrupção do tratamento de cisalhamento. Os xaropes avaliados neste estudo, porém, contêm, além do solvente (água) e do

componente protéico, elevada concentração de sacarose, cerca de 30,0 a 34,0% e, além disto, foram submetidos a tratamentos térmicos (variáveis, dependendo do tipo de agente aerante, de 80 a 94°C), fatores que também determinam seu comportamento reológico.

As porcentagens de *overrun* e as densidades das espumas formadas, apresentadas na tabela Tabela 15, variaram, respectivamente, de 393,75 a 750,00 % e de 0,2280 a 0,1310, para os tratamentos com gelatina, de 191,67 a 613,33 % e de 0,3804 a 0,1496, para os com concentrado protéico de soro, e de 438,33 a 614,17 % e 0,2038 a 0,1528 para os com caseinato de sódio. Estes valores de *overrun* estão dentro da faixa mencionada por FENNEMA (1985). Segundo este autor, soluções ou dispersões protéicas, aeradas por batimento, podem apresentar um aumento de volume da ordem de 300 a 2000 %.

Para todos os tratamentos, observou-se uma relação inversa entre o *overrun* e a densidade da espuma, conforme esperado, pois quanto maior o volume de ar incorporado, para uma mesma massa, menor a densidade do produto. Esta relação negativa entre o *overrun* e a densidade de uma espuma é mencionada por diversos autores (FENNEMA, 1985; GROVES, 1995; CAMPBELL & MOUGEOT, 1999).

O *overrun* relacionou-se diretamente e, conseqüentemente, a densidade da espuma relacionou-se inversamente com a concentração de agente aerante e o tempo de batimento. Este resultado era esperado, nas faixas de concentração de agente aerante e de tempo de batimento adotadas. Indiretamente, houve uma relação positiva entre a viscosidade do xarope e o *overrun*.

No presente trabalho, é difícil comparar a capacidade de incorporação de ar entre os diferentes agentes aerantes, devido ao fato de terem sido usadas concentrações diferentes destes agentes nas formulações. Comparando na concentração de 1,0 %, entretanto, verificou-se o maior poder aerante da gelatina (*overrun* = 636,20 %, com batimento por 450 s, e 710,83 %, com batimento por 750 s), comparada ao caseinato de sódio (*overrun* = 458,33 %, com batimento por 450 s, e 529,17 %, com batimento por 750 s) e ao concentrado protéico de soro (*overrun* = 191,67 %, com batimento por 600 s), mesmo considerando-se os valores de *overrun* dos tratamentos com concentrado protéico de soro com maior tempo de batimento (600 s) e os dos tratamentos com gelatina e

caseinato de sódio com menor tempo de batimento (450 s). Diferentes tipos de agentes aerantes apresentam propriedades de incorporação de ar e formação de espuma diferentes e, conseqüentemente, produzem diferentes volumes de espuma.

Diversos autores discutem a relação entre a concentração de proteína no sistema e o volume de espuma formado (TIEMSTRA, 1964a,b; GROSSO, 1972; HALLING, 1981; KITABATAKE & DOI, 1982; FENNEMA, 1985, LEES, 1991a). De maneira geral, o *overrun* máximo é obtido a concentrações de proteína entre 2 e 8% (HALLING, 1981; FENNEMA, 1985). As concentrações de proteína estudadas neste trabalho encontram-se dentro desta faixa. Segundo FENNEMA (1985), o poder espumante (definido como 100 x volume de gás na espuma / volume de líquido na espuma) aumenta com a concentração de proteína na fase líquida até um determinado valor máximo. Alguns agentes aerantes apresentam elevado poder espumante a baixas concentrações. A gelatina, a 1,0 % de concentração, apresenta um poder espumante de 221; a concentrações de 2,0 a 3,0%, apresenta um poder espumante máximo de 228. O caseinato de sódio e o isolado protéico de soja apresentam poder espumante mais baixo, tanto a 1,0 % (198 e 154, respectivamente), quanto a de 2,0 a 3,0 % de concentração (213 e 203, respectivamente) (KITABATAKE & DOI, 1982; FENNEMA, 1985).

O efeito da concentração de proteínas do soro de leite na formação de espumas foi discutido por vários autores (MANGINO, 1984; PHILLIPS *et al.*, 1987; BRITTEN & LAVOIE, 1992; AULER *et al.*, 2000). MANGINO (1984) observou uma maior incorporação de ar ao alimento com o aumento do teor de concentrado protéico de soro adicionado. PHILLIPS *et al.* (1987) estudaram a propriedade espumante de um concentrado protéico de soro (com 68,18 % de proteína, 7,58 % de umidade, 6,00 % de gordura e 5,21 % de cinzas) nas concentrações de 3,0, 5,0 e 11,0 % de proteína, e obtiveram o maior valor de *overrun* (660 %) com o emprego de 5,0 % de proteína. BRITTEN & LAVOIE (1992) observaram o aumento do volume de espuma formada em função do aumento da concentração de concentrado protéico de soro até o limite de 8,0 %, acima do qual verificou-se uma redução na formação de espuma. As concentrações de concentrado protéico de soro empregadas neste trabalho foram inferiores às relatadas na literatura como limites para a obtenção do *overrun* máximo.

O *overrun* e a densidade de uma espuma também dependem de fatores como tipo de equipamento, temperatura, velocidade e tempo de batimento (TIEMSTRA, 1964 a, b, LEES, 1991 a). O aumento da velocidade e do tempo de batimento favorecem a formação de espuma, porém velocidades muito altas e/ou tempos de batimento muito prolongados podem resultar na quebra da espuma. A intensidade e o tempo de batimento devem ser tais que promovam desdobramentos protéicos e adsorções adequadas. Neste trabalho, os tempos de batimento adotados para a segunda e a terceira fases experimentais não atingiram o limite de quebra de espuma.

A diminuição da densidade da espuma com o aumento do tempo de batimento do xarope de açúcares com agentes aerantes foi observada por GROSSO (1972). Este autor estudou o aumento do *overrun* em função do tempo de batimento para diferentes agentes aerantes. A acetilmetilcelulose e proteínas do leite apresentaram valores baixos de *overrun* (de cerca de 12,0 e 50,0 %, respectivamente), mas crescentes em função do tempo de batimento, até o tempo máximo de 6 min; as proteínas da soja e a albumina apresentaram valores mais altos de *overrun* (de cerca de 175,0 e 250,0 %, respectivamente) e crescentes, em função do tempo de batimento, até um tempo máximo de 5 min e 30 s e 5 min, respectivamente, a partir do qual o *overrun* diminuiu. O baixo valor de *overrun* encontrado por este autor para as proteínas do leite, comparado aos resultados do presente trabalho, deve-se, provavelmente, ao fato de ter sido usado um ingrediente com baixo grau de pureza.

A relação entre a viscosidade dos xaropes de açúcares com agentes aerantes e o *overrun* é discutida na literatura (TIEMSTRA, 1964 a, b, HALLING, 1981; FENNEMA, 1985; LEES, 1991a). Segundo TIEMSTRA (1964a,b), existe uma faixa ideal de viscosidade do xarope para que ocorra uma boa incorporação de ar ao produto, durante o batimento. De maneira geral, xaropes de baixa viscosidade apresentam maior capacidade de incorporação de ar que os de alta viscosidade. Neste trabalho, os coeficientes de viscosidade dos xaropes dos diferentes tratamentos não foram muito altos, não comprometendo a aeração.

5.2.1.3. Modelos preditivos obtidos a partir dos parâmetros *overrun* e densidade da espuma

Com base no Delineamento Composto Central adotado para este estudo (o mesmo usado para a otimização de formulações de mousse no que compreende as variáveis e os níveis das variáveis), utilizando-se os parâmetros *overrun* e densidade da espuma, foi possível se obter modelos preditivos para alguns dos agentes aerantes testados.

As médias dos resultados de densidade e *overrun* das espumas foram submetidas a análises de regressão, calculando-se, inicialmente, uma equação polinomial quadrática, testando-se sua falta de ajuste e avaliando-se a significância de cada parâmetro. Os modelos preditivos foram ajustados considerando-se apenas os parâmetros significativos (a $p < 0,05$) e foram traçados gráficos de Superfície de Resposta.

Para todos os agentes aerantes estudados foram obtidos modelos assumindo-se como variáveis dependentes o *overrun* e a densidade da espuma.

5.2.1.3.1. Modelos preditivos obtidos para a gelatina

Com base nos resultados de *overrun* dos tratamentos com gelatina, foi obtido o modelo:

$$OR = 661,8509 + 38,1563 ([AA]) + 47,3230 (t \text{ bat})$$

sendo: OR = *overrun*; [AA] = concentração de agente aerante; t bat = tempo de batimento

O coeficiente de regressão deste modelo foi de 0,8344. Realizando-se a análise de variância do modelo, obteve-se um F calculado 4,5 vezes maior que o tabelado.

A partir deste modelo pode-se concluir que a concentração de gelatina e o tempo de batimento do xarope de sacarose com gelatina influenciaram o *overrun* das espumas, sendo o tempo de batimento o fator de variação que teve maior efeito sobre o *overrun*.